

*C. SCHNABEL*

---

*TRAITÉ*  
*DE*  
*MÉTALLURGIE GÉNÉRALE*

*PARIS*

*CH. BÉRANGER ÉDITEUR*



**TRAITÉ**  
**DE**  
**MÉTALLURGIE GÉNÉRALE**

## MÊME LIBRAIRIE

---

- C. SCHNABEL. **Traité théorique et pratique de métallurgie.** Traduit de l'allemand par le D<sup>r</sup> L. GAUTIER.
- Tome premier : *Cuivre, plomb, argent, or.* 1 volume grand in-8° de 836 pages, avec 586 figures dans le texte. Relié . . . . . 40 fr.
- Tome second : *Zinc, cadmium, mercure, bismuth, étain, antimoine, arsenic, nickel, cobalt, platine, aluminium.* 1 volume grand in-8° de 648 pages, avec 373 figures dans le texte. Relié . . . . . 30 fr.
- W. BORCHERS. **Traité d'électrométallurgie.** *Magnésium, lithium, glucinium, sodium, potassium, calcium, aluminium, cérium, lanthane, didyme, cuivre, argent, or, zinc, cadmium, mercure, étain, plomb, bismuth, antimoine, chrome, manganèse, fer, nickel, cobalt, platine,* etc. Traduit d'après la deuxième édition allemande, par le D<sup>r</sup> L. GAUTIER. 1 volume grand in-8°, avec 198 figures dans le texte. Relié . . . . . 25 fr.
- V. OHLMÜLLER. **Guide pratique pour l'analyse de l'eau.** *Analyse chimique, micrographique et bactériologique.* Traduit d'après la deuxième édition allemande, par le D<sup>r</sup> L. GAUTIER. 1 volume in-8°, avec 76 figures dans le texte et une planche. Relié . . . . . 10 fr.
- M. BÜCHELER. **Manuel de Distillerie.** *Guide pratique pour l'alcoolisation des grains, des pommes de terre et des matières sucrées.* Traduit de l'allemand et augmenté de nombreuses additions par le D<sup>r</sup> L. GAUTIER. 1 volume grand in-8° avec 156 figures dans le texte. Relié . . . . . 20 fr.
- F. FISCHER. **Manuel pour l'essai des combustibles et le contrôle des appareils de chauffage.** Traduit d'après la quatrième édition allemande par le D<sup>r</sup> L. GAUTIER. 1 volume in-12, avec 54 figures dans le texte. Relié . . . . . 6 fr.
- V. HÖBLING. **Traité de la fabrication des matières de blanchiment.** Traduit de l'allemand par le D<sup>r</sup> L. GAUTIER. 1 volume grand in-8°, avec 230 figures dans le texte. Relié . . . . . 15 fr.
-

**TRAITÉ**  
DE  
**MÉTALLURGIE GÉNÉRALE**

PAR

**C. SCHNABEL**

Conseiller supérieur des mines à Berlin  
Ancien professeur de métallurgie et de chimie technologique  
à l'Académie des mines de Clausthal (Harz)

---

TRADUIT D'APRÈS LA DEUXIÈME ÉDITION ALLEMANDE

PAR

**Le Dr L. GAUTIER**

---

**Avec 768 figures dans le texte**

---

**PARIS**

**LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR**  
**SUCESSEUR DE BAUDRY ET C<sup>ie</sup>**

**15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15**

**MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCK**

**1904**

Tous droits réservés.



## PRÉFACE

---

La métallurgie générale a pour objet principal l'exposé des principes généraux sur lesquels repose l'extraction des métaux, c'est-à-dire les opérations que nécessite le traitement des minerais et des produits métallurgiques en vue de la séparation du métal ou des métaux qu'ils renferment. Les différentes voies suivies pour le traitement des corps métallifères, quelle que soit la nature de ces derniers, peuvent, en effet, être l'objet de considérations générales applicables à tous les cas, considérations dont il ne saurait être question dans un ouvrage de métallurgie spéciale.

Les appareils usités pour l'extraction des différents métaux par la voie sèche, la voie humide ou la voie électrométallurgique offrent également entre eux de nombreux points de ressemblance, aussi bien en ce qui concerne les appareils eux-mêmes que leurs accessoires ; leur description appartient donc aussi à la métallurgie générale.

Les corps, à l'aide desquels on produit ou favorise la séparation des métaux des minerais ou des autres substances métallifères, ne pourraient non plus être étudiés à propos de l'extraction de chaque métal en particulier et il en est tout à fait de même des moyens employés pour la production de la chaleur nécessaire pour provoquer la séparation des métaux des corps qui les renferment.

Dans le *Traité de métallurgie générale* de M. C. Schnabel, dont le présent ouvrage est la traduction française, ces différents

sujets sont exposés avec tous les développements qu'ils comportent et la plupart des appareils en usage dans les usines métallurgiques y sont fidèlement représentés par de nombreuses figures.

Comme dans les deux précédents volumes de métallurgie spéciale du même auteur, dont nous avons donné la traduction, les descriptions sont présentées avec une grande clarté et une grande précision, qualités d'autant plus précieuses que l'ouvrage s'adresse tout particulièrement à ceux qui débutent dans l'étude de la métallurgie, à laquelle il doit les initier.

Nous avons fait notre travail d'après la deuxième édition allemande (Berlin 1903), en traduisant celle-ci aussi fidèlement que possible, mais, toutefois, en y ajoutant les descriptions de différents appareils non mentionnés dans le texte allemand et les représentant la plupart par des figures. Ces additions sont mises entre crochets.

Nous espérons qu'il sera fait au nouveau volume du savant métallurgiste allemand un accueil non moins favorable que celui dont les deux volumes antérieurs ont été l'objet, aussi bien en France que dans les autres pays de langues latines.

D<sup>r</sup> L. GAUTIER.

Melle (Deux-Sèvres), février 1904.

---



# TRAITÉ

DE

# MÉTALLURGIE GÉNÉRALE

---

## INTRODUCTION

---

La *métallurgie* est l'art d'extraire les métaux en grand.

Les corps desquels les métaux sont extraits sont soit des combinaisons chimiques de ces derniers, soit des mélanges de métaux avec d'autres corps.

Les corps renfermant des métaux se rencontrent dans la nature et constituent les *minerais*, ou ils sont préparés *artificiellement* avec les minerais.

On nomme *usines métallurgiques* les établissements dans lesquels les métaux sont extraits en grand.

Le travail, auquel les corps contenant des métaux sont soumis dans les usines métallurgiques, est désigné sous le nom de *traitement* ou *élaboration*.

Les métaux dont l'extraction a lieu dans les usines métallurgiques sont : l'aluminium, l'antimoine, l'argent, l'arsenic, le bismuth, le cadmium, le cobalt, le cuivre, l'étain, le fer, le mercure, le nickel, l'or, le platine, le plomb et le zinc.

Les autres métaux, à cause de leur rareté ou de la difficulté de leur extraction, ne sont pas préparés dans les usines métallurgiques, mais dans les laboratoires ou les fabriques de produits chimiques.

Indépendamment des métaux qui viennent d'être nommés, on obtient aussi dans les usines métallurgiques certaines de leurs combinaisons, qui sont produites avec intention ou qui se forment comme produits secondaires dans le cours des opérations qui ont pour but l'extraction des métaux, tels que, par exemple, l'acide arsénieux, les smalts, les vitriols, le soufre, l'acide sulfureux, l'acide sulfurique.

La séparation des métaux des corps qui les renferment est effectuée à l'aide d'opérations chimiques et mécaniques.

Dans un grand nombre de cas, une séparation *directe* des métaux des corps métallifères n'est pas praticable. On prépare alors avec ces derniers des produits intermédiaires et de ceux-ci on sépare les métaux directement ou après les avoir transformés en d'autres produits intermédiaires.

L'étude de la métallurgie suppose, non seulement une connaissance

approfondie de la chimie, de la physique et de l'art de l'essayeur, mais encore celle de la mécanique, de la minéralogie, de l'électrotechnique et de l'architecture.

La métallurgie elle-même comprend une partie générale et une partie spéciale. La partie générale, la *métallurgie générale*, traite les conditions générales de l'extraction des métaux, tandis que la partie spéciale s'occupe de l'extraction de chaque métal en particulier. On divise cette dernière partie en la *métallurgie du fer*, qui décrit l'extraction du fer et son élaboration en objets commerciaux, et la *métallurgie*, qui traite de l'extraction des métaux autres que le fer.

Tandis que les récents ouvrages sur la métallurgie du fer renferment aussi les objets de la métallurgie générale concernant l'extraction et l'élaboration du fer, il n'en est pas de même pour les ouvrages sur l'extraction des autres métaux, ou sur un seul ou plusieurs de ces métaux. L'étude de la métallurgie générale sera donc également nécessaire pour ceux qui voudront s'occuper de la métallurgie des métaux autres que le fer.

La métallurgie générale traite les objets suivants :

- 1° Les corps desquels les métaux sont extraits ;
  - 2° Les procédés de séparation des métaux des corps métallifères ;
  - 3° Les corps à l'aide desquels est produite la séparation des métaux ;
  - 4° La production de la chaleur nécessaire pour l'extraction des métaux ;
  - 5° La production de l'électricité nécessaire pour l'extraction des métaux ;
  - 6° Les dispositifs pour l'extraction des métaux ;
  - 7° Les produits du travail métallurgique.
-

# CHÂPITRE PREMIER

## CORPS DESQUELS LES MÉTAUX SONT EXTRAITS

Les combinaisons métalliques qui se rencontrent dans la nature, les *minerais*, constituent la matière première de l'extraction des métaux.

Mais, comme on l'a déjà dit, dans un grand nombre de cas, les métaux ne peuvent pas être séparés *directement* des minerais. Leur séparation doit alors être précédée de la préparation de produits intermédiaires. Ces *produits intermédiaires* forment donc aussi, indépendamment des minerais, une matière pour l'extraction des métaux. En outre, les *déchets métallifères du travail métallurgique*, de même que ceux des branches les plus diverses de *l'activité industrielle*, par exemple des fabriques de produits chimiques, des teintureries, des ateliers d'impression des indiennes, etc., sont également traités en grand pour métaux.

Nous avons donc à distinguer comme matières pouvant servir à l'extraction des métaux :

1° Les combinaisons métalliques qui se rencontrent dans la nature, les minerais ;

2° Les combinaisons métalliques préparées artificiellement.

Ces deux sortes de combinaisons métalliques sont, dans un grand nombre de cas, traitées dans une seule et même usine métallurgique.

Dans d'autres cas, les minerais, ainsi que les différents produits intermédiaires de l'extraction des métaux, sont élaborés dans des usines particulières. Ainsi, par exemple, on traite en Espagne et en Grèce pour plomb argentifère des minerais de plomb contenant de l'argent, tandis que le traitement ultérieur de cet alliage est effectué en Belgique et en Allemagne. Dans certaines usines, on prépare de l'argent aurifère, tandis que le traitement subséquent de cet alliage est pratiqué dans d'autres usines. Certaines usines ne s'occupent que de l'épuration des métaux bruts, d'autres de la séparation de métaux d'alliages, d'autres enfin du traitement de produits intermédiaires pour d'autres produits intermédiaires, comme, par exemple, les usines à matte concentrée du Mansfeld, qui traitent la matte cuivreuse pour une matte enrichie en argent et en cuivre, la matte concentrée.

### 1. — Combinaisons métalliques qui se rencontrent dans la nature ou minerais.

On désigne sous le nom de *minerais* les minéraux et les mélanges de minéraux desquels des métaux peuvent être extraits avantageusement

dans les usines métallurgiques. Le métallurgiste met aussi au nombre des minerais les métaux se rencontrant à l'état natif, qui, pour être purifiés ou séparés des corps étrangers auxquels ils peuvent être mélangés, ont besoin d'un traitement métallurgique.

#### Composition chimique.

Relativement à leur composition chimique, les minerais sont : des métaux à l'état de régule, des alliages, des oxydes, des hydroxydes, des combinaisons avec un ou plusieurs des éléments soufre, arsenic, antimoine, des combinaisons haloïdiques ou des oxysels.

Les principaux métaux se rencontrant à l'état de régule (c'est-à-dire à l'état plus ou moins pur) sont : le platine, le mercure, le bismuth, le cuivre, l'antimoine et l'arsenic. Ils sont rarement chimiquement purs, mais contiennent fréquemment d'autres métaux, ce sont alors des alliages.

Ainsi, par exemple, l'or contient souvent de l'argent, le platine les différents métaux du groupe platine, l'argent de l'or et du cuivre, le cuivre du fer et de l'argent.

Les alliages sont les mélanges dont il vient d'être question des métaux natifs avec d'autres métaux.

Quelques métaux, comme le platine et l'or (à l'exception de l'or telluré), ne se rencontrent dans la nature presque qu'à l'état natif, tandis que la plupart des autres métaux se trouvent beaucoup plus fréquemment en combinaison avec d'autres corps. On nomme ces combinaisons par opposition avec les métaux natifs et les alliages : *métaux minéralisés*.

Les principaux oxydes métalliques sont : le fer oxydé rouge, hématite rouge ou fer oligiste ( $\text{Fe}^2\text{O}^3$ ), le cuivre oxydé noir ou pélokonite ( $\text{CuO}$ ), le cuivre oxydulé, cuivre oxydé rouge ou cuprite ( $\text{Cu}^2\text{O}$ ), le zinc oxydé rouge ou zincite ( $\text{ZnO}$ ), l'étain oxydé ou cassitérite ( $\text{SnO}^2$ ), l'antimoine oxydé ou valentinite ( $\text{Sb}^2\text{O}^3$ ).

Parmi les hydroxydes, le *fer hydroxydé* est le plus important. C'est une combinaison du sesquioxyde de fer avec des quantités variables d'eau, qui se trouve dans la limonite ou les anciennes hématites brunes de la formule :  $\text{Fe}^4\text{H}^6\text{O}^9$  ou  $2\text{Fe}^2\text{O}^3, 3\text{H}^2\text{O}$ , dans le fer oxydé jaune ou xanthosidérite :  $\text{Fe}^2\text{H}^4\text{O}^8$  ou  $\text{Fe}^2\text{O}^3, 2\text{H}^2\text{O}$ .

On trouve très fréquemment dans la nature des minerais composés de sulfures métalliques.

Le soufre peut être combiné aussi bien à un seul métal qu'avec plusieurs métaux. Les minerais suivants sont des combinaisons du soufre avec un seul métal :

Plomb sulfuré ou galène ( $\text{Pb S}$ ),  
 Blende ou sphalérite ( $\text{Zn S}$ ),  
 Cuivre sulfuré ou chalkosine ( $\text{Cu}^2 \text{S}$ ).  
 Covelline ( $\text{Cu S}$ ),  
 Mercure sulfuré ou cinabre ou cinnabarite ( $\text{Hg S}$ ),  
 Argent sulfuré ou argentite ( $\text{Ag}^2 \text{S}$ ),  
 Nickel sulfuré ou millérite ( $\text{Ni S}$ ),  
 Cobalt sulfuré ou linnéite ( $\text{Co}^3 \text{S}^1$ ),  
 Fer sulfuré, pyrite de fer ou pyrite ( $\text{Fe S}^2$ ),

Antimoine sulfuré ou stibnite ( $\text{Sb}^2\text{S}^3$ ),  
 Orpiment ( $\text{As}^2\text{S}^3$ ),  
 Réalgar ( $\text{As}^2\text{S}^2$ ).

La pyrite cuivreuse ou chalkopyrite ( $\text{Cu Fe S}^2$ ), le cuivre panaché ou bornite ( $\text{Cu}^2\text{ Fe S}^3$ ), le cuivre sulfuré argentifère ou stromeyerite ( $\text{Cu}^2\text{ S} + \text{Ag}^2\text{ S}$ ) sont des combinaisons du soufre avec plusieurs métaux.

Les minerais formés d'**arséniures métalliques** sont : le nickel arsénical ou nickéline rouge ( $\text{Ni As}$ ), et le nickel arsénical blanc ou chloanthite ( $\text{Ni As}^2$ ), ainsi que le cobalt arsénical ou smaltine ( $\text{Co As}^2$ ).

Nous mentionnerons, parmi les **antimoniures métalliques**, l'argent antimonial ou le discrasite ( $\text{Ag}^2\text{ Sb} - \text{Ag}^6\text{ Sb}$ ).

Les minerais suivants représentent des combinaisons de **soufre et d'arsenic** ou d'**antimoine** et d'**arsenic** avec un seul métal : cobalt gris ou cobaltine ( $\text{Co SAs}$ ), gersdorffite ou dismose ( $\text{Ni SAs}$ ), argent rouge clair ou proustite ( $\text{Ag}^3\text{ As S}^3$ ), argent rouge sombre ou pyrargyrite ( $\text{Ag}^3\text{ Sb S}^3$ ), antimoine sulfuré nickélicifère ou ullmannite ( $\text{Ni S, Sb}$ ). Les cuivres gris ou tétraédrites [ $4 (\text{Cu}^2\text{S, FeS, ZnS, Ag}^2\text{S, Hg}^2\text{S}), \text{Sb}^2\text{S}^2, \text{As}^2\text{S}^3$  ou  $\text{Cu}^8\text{Sb}^2\text{S}^7$ ] sont des combinaisons de soufre et d'arsenic ou d'antimoine avec plusieurs métaux.

Des minerais formés de **combinaisons halogéniques**, comme par exemple, l'argent corné ou kérargyrite ( $\text{AgCl}$ ), se rencontrent rarement. L'atacamite [ $\text{CuCl}^2 + 3\text{Cu} (\text{OH})^2$ ] est un minerai formé d'un oxychlorure.

Parmi les minerais se composant d'**oxysels**, les plus importants sont des carbonates, des silicates, des arséniates et des phosphates. On ne rencontre que rarement des sels avec d'autres acides, comme les chromates, les vanadates, les antimonates, les tungstates.

Parmi les **carbonates**, nous mentionnerons : la malachite [ $\text{CuCO}^2, \text{Cu} (\text{OH})^2$ ], l'azurite [ $2\text{CuCO}^2, \text{Cu} (\text{OH})^2$ ], le fer spathique ou sidérite ( $\text{FeCO}^3$ ), le zinc carbonaté ou smithsonite ( $\text{ZnCO}^3$ ), le plomb carbonaté ou cérussite ( $\text{PbCO}^3$ ) ; parmi les **silicates** : le zinc silicaté ou calamine siliceuse ( $\text{Zn}^2\text{Si O}^4 + \text{H}^2\text{O}$ ), la willemitte ou hébétine ( $\text{ZnSiO}^4$ ) et la garniériste, qui est un silicate de nickel et de magnésium ; parmi les **sulfates** : le plomb sulfaté ou anglésite ( $\text{PbSO}^4$ ), le cuivre sulfaté ou chalcantite ( $\text{CuSO}^4 + 5\text{H}^2\text{O}$ ) ; parmi les **arséniates** : le nickel aasénialé ou annabergite  $\text{Ni}^2\text{As}^2\text{O}^8 + 8\text{H}^2\text{O}$ , le cobalt arsénialé ou érythrine ( $\text{Co}^2\text{As}^2\text{O}^8 + 8\text{H}^2\text{O}$ ) ; parmi les **phosphates** : la pyromorphite ( $\text{PbCl}^2 + 3\text{Pb}^3\text{P}^2\text{O}^8$ ).

De ce qui vient d'être exposé relativement à la composition des minerais, il résulte que dans différents cas, par exemple, avec le cuivre gris et le cuivre sulfuré argentifère, le métallurgiste a à extraire plusieurs métaux du même minerai.

#### Préparation des minerais.

Les différents minerais se trouvent fréquemment déposés dans leurs gisements les uns à côté des autres et pêle-mêle et mélangés avec d'autres minéraux et des roches. Parmi les minéraux mélangés avec les minerais, les plus importants sont : le quartz, le spath calcaire, la dolomie, le fer spathique, le spath fluor, la baryte sulfatée et les silicates de toutes

sortes ; parmi les roches avec lesquelles les minerais peuvent être mélangées, les plus fréquentes sont les roches calcaires (pierre calcaire, dolomie), les roches argileuses (argile, argilolite, schiste argileux), les roches siliceuses (schiste siliceux ou lydite, grauwacke, grès, gneiss, granit, syénite, porphyre, porphyrite, mélaphyre).

Par suite de la présence de ces corps, un grand nombre de minerais doivent, avant le traitement métallurgique, être soumis à une préparation mécanique. Cette opération a pour but aussi bien de séparer le mélange de minerais différents en les différentes sortes convenables pour le traitement métallurgique, que de dépouiller les minerais, aussi complètement que l'exigent les règles du travail métallurgique, des autres minéraux et roches qui y sont mélangés. Comme il n'est pas possible de séparer les uns des autres par préparation mécanique des minerais différents ayant approximativement le même poids spécifique, le métallurgiste a souvent affaire à des mélanges de minerais, desquels il doit extraire *plusieurs métaux*. Comme, en outre, une séparation complète des minerais d'avec les minéraux et les roches qui les accompagnent, entraîne souvent une perte importante de minerais, on ne cherche dans beaucoup de cas, surtout lorsqu'on a affaire à des minerais précieux, à produire l'enrichissement de la teneur des minerais que jusqu'à un certain degré. Les matières mélangées au minerai peuvent aussi, fréquemment, être avantageuses pour le traitement de ce dernier et contribuer à la production des réactions chimiques, à l'aide desquelles les métaux doivent être séparés des minerais. En pareils cas, on laisse de ces matières dans les minerais la quantité qui convient pour le traitement métallurgique auquel ceux-ci doivent être soumis.

#### Dénomination des minerais.

Le métallurgiste désigne ordinairement les minerais par le nom du métal qui doit en être extrait, par exemple, minerais de plomb, minerais de cuivre, minerais d'argent, minerais d'étain, minerais de zinc, minerais de cobalt, minerais de nickel. Si le même minerai contient plusieurs métaux en quantités extractibles, on le désigne d'après le nom du métal qui offre le plus de valeur. Ainsi, par exemple, on appelle minerai d'argent des minerais de plomb et des minerais de cuivre riches en argent.

D'autres dénominations, que l'on a coutume d'associer à celles dont il vient d'être question, se rapportent à la composition chimique des minerais, comme minerais oxydés, minerais sulfurés, aux substances étrangères avec lesquelles ils sont mélangés, comme minerais quartzeux, spathiques, pyriteux, calcaires, argileux, à la forme qui leur est donnée par la préparation mécanique, comme minerais de choix, grenailles, schlichs, et au mode de traitement, comme minerais de lixiviation, minerais de fusion, minerais d'addition.

## 2. — Combinaison artificielle des métaux.

Les combinaisons artificielles des métaux, auxquelles donne naissance le traitement des minerais, de même que les déchets métallifères des usines

métallurgiques et industrielles sont : des mélanges de métaux avec d'autres corps, des alliages, des oxydes, des sulfures métalliques, des arséniures et antimoniures, des sels haloïdes, des combinaisons des métaux avec un ou plusieurs des éléments carbone, silicium et phosphore, enfin des oxydes métalliques.

#### Métaux.

Les *métaux* sont ordinairement renfermés à l'état très divisé ou sous la forme de grenailles ou de fragments dans d'autres produits métallurgiques, par exemple, le zinc dans la poussière de zinc, mélange de zinc métallique très divisé et d'oxyde de zinc, dans la stupp<sup>4</sup>, mélange intime de mercure avec du bioxyde de mercure, du sulfate de mercure, du cinabre et du noir de fumée, l'or et l'argent dans les scories de la fonte et de l'affinage de ces métaux, l'argent dans les fumées et dans les litharges (oxyde de plomb) qui se produisent dans la séparation de l'argent d'avec le plomb par coupellation, le cuivre dans les loups, c'est-à-dire les dépôts de fer métallique qui se forment sur la sole des fours de fusion, ainsi que dans les scories de l'affinage du cuivre brut.

#### Alliages.

Les *alliages* constituent une matière très importante pour l'extraction des métaux, parce que la plupart de ces derniers, avant leur transformation à l'état de métaux purs, sont obtenus sous forme d'alliages. Les alliages les plus importants sont : l'argent aurifère, l'argent d'éclair, c'est-à-dire l'argent dont la pureté est altérée par des métaux étrangers, surtout par le plomb, le cuivre et le bismuth, l'amalgame d'or et l'amalgame d'argent, qui sont des alliages de mercure avec l'or ou l'argent, le plomb d'œuvre, c'est-à-dire du plomb contenant de l'or et de l'argent, le cuivre noir ou cuivre brut, c'est-à-dire du cuivre contenant du fer, du zinc, du plomb, de l'arsenic, de l'antimoine, l'étain d'œuvre ou étain brut, c'est-à-dire de l'étain renfermant des métaux étrangers, surtout du plomb, en outre les alliages de zinc, de plomb et d'argent ou d'or, que l'on obtient lors de l'extraction de l'or et de l'argent des alliages de ces derniers métaux avec le plomb en se servant du zinc, les pains de liquation et les gâteaux ou carcasses de liquation, c'est-à-dire les alliages de cuivre, argent et plomb, que l'on obtient lors de l'extraction de l'argent du cuivre argentifère par liquation ou ressuage, et les épines de liquation qui se produisent dans l'épuration du cuivre, afin d'en séparer le plomb.

#### Oxydes.

Les *oxydes* forment dans un grand nombre de procédés usités pour l'extraction des métaux non précieux la dernière ou l'avant-dernière matière du traitement. D'après ces procédés, de nombreuses combinai-

<sup>4</sup> Voy. C. SCHNABEL, *Traité de Métallurgie*, édition française par L. GAUTIER, t. II, p. 323.

sons métalliques doivent, en effet, pendant le cours des différentes opérations, être converties en oxydes, desquels les métaux sont ensuite séparés au moyen d'agents de réduction. Comme oxydes artificiels produits dans ce but, nous citerons : le bioxyde et le protoxyde de cuivre, l'oxyde de plomb, l'oxyde de zinc, le sesquioxyde de fer, les sesquioxydes de nickel et de cobalt, l'oxyde d'antimoine.

Comme oxydes qui se trouvent mélangés avec une certaine quantité de sulfures et de sulfates, on peut citer : l'oxyde de plomb, le protoxyde et le bioxyde de cuivre. On obtient ces mélanges lors du grillage de minerais de plomb ou de cuivre sulfurés (grillage oxydant).

### Sulfures métalliques.

Les *sulfures métalliques* forment, après les minerais, la principale matière de l'extraction des métaux. Ils prennent naissance comme produits intermédiaires lors du traitement de minerais sulfurés. Souvent aussi, on cherche à concentrer la teneur en métal de minerais exempts de soufre, par exemple, de minerais pauvres d'argent et de cuivre, dans des combinaisons sulfurées, ou à précipiter des métaux de solutions aqueuses à l'état de sulfures, par exemple, le cuivre de solutions sulfuriques ou chlorhydriques, l'argent de solutions hyposulfuriques.

Le métallurgiste appelle *mattes* les sulfures métalliques artificiels préparés par le procédé de fusion, et il les dénomme suivant le métal qui y prédomine, ou d'après le travail dans lequel elles prennent naissance, ou d'après leur couleur ou leur structure. Les dénominations se rapportant au métal sont, par exemple, *matte de cuivre*, *matte de plomb*, *matte de nickel*; *matte brute* (de la fonte brute), *matte de concentration* (de la fonte de concentration) sont des dénominations dérivées du mode de travail duquel résultent ces produits, tandis que les expressions de *matte bleue*, de *matte blanche*, de *matte vésiculeuse* (usitées en Angleterre pour les mattes de cuivre) se rapportent à la couleur et à la structure.

Les éléments essentiels des mattes sont : le soufre, le fer, le plomb, le cuivre, le nickel; puis, en plus faible quantité, le zinc, l'argent, le cobalt, le manganèse, et en quantité encore plus faible, l'arsenic et l'antimoine.

Les mattes peuvent être aussi bien des mélanges isomorphes de sulfures différents que de mélanges de métaux et de sulfures métalliques ou de métaux, de sulfures et d'oxydes.

Les métaux qui se rencontrent sous forme de sous-sulfures dans les mattes sont : l'argent ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ) et le cuivre ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ). Le monosulfure de cuivre n'est pas fixe, mais se dédouble sous l'influence de la chaleur en sous-sulfure et soufre. Les métaux, le cuivre et l'argent exceptés, se trouvent généralement dans la matte sous forme de monosulfures (Fe, Pb, Zn, Ni, Mn sous forme de  $\text{FeS}$ ,  $\text{PbS}$ ,  $\text{NiS}$ ,  $\text{MnS}$ ). Le sous-sulfure de fer ( $\text{Fe}_2\text{S}$ ) et le sous-sulfure de plomb ( $\text{Pb}_2\text{S}$ ), qui, suivant les anciennes opinions, existeraient dans les mattes, semblent, d'après les récentes recherches de STÖLZEL, SCHWEDER et MÜNSTER, ne pas s'y trouver; mais, comme cela a été suffisamment démontré, on rencontre dans les mattes du fer, du nickel et du plomb séparés à l'état métallique.

Si maintenant le soufre présent dans la matte ne suffit pas pour former



avec les métaux fer, plomb et nickel des monosulfures, la matte représente un mélange de sulfures métalliques et de métaux. Les sulfures en question,  $\text{FeS}$ ,  $\text{NiS}$ ,  $\text{PbS}$ , ont la propriété de dissoudre du fer ou du nickel et du plomb et de les laisser se séparer à l'état métallique par le refroidissement. L'arsenic et l'antimoine qui ne se trouvent dans la matte qu'en quantités extrêmement faibles, sont probablement combinés avec du soufre et des métaux électro-positifs, de façon à former, par exemple, du sulfure d'antimoine et de plomb, du sulfure d'antimoine et de fer.

L'opinion de BRÉDBERG, suivant laquelle les mattes sont des combinaisons de sulfures métalliques électropositifs avec des sulfures électronégatifs, n'est pas acceptable, parce que l'arsenic et l'antimoine ne se trouvent qu'en quantités extrêmement faibles dans les mattes et que les sous-sulfures admis par lui,  $\text{Fe}^2\text{S}$ ,  $\text{Pb}^2\text{S}$  et  $\text{Ni}^2\text{S}$ , ne semblent pas exister, comme on l'a dit plus haut.

Aux mattes, qui contiennent assez de soufre pour que le cuivre et l'argent se trouvent sous forme de sous-sulfures et les autres métaux sous forme de monosulfures, appartiennent, par exemple, les mattes cuivreuses du Mansfeld et du Harz Inférieur, ainsi que les mattes brutes et les mattes de concentration, que l'on obtient dans l'extraction du cuivre par la méthode anglaise. Aux mattes qui ne contiennent pas suffisamment de soufre pour que le fer ou le plomb forment des monosulfures, appartiennent, par exemple, les mattes plombeuses du Harz Inférieur, les mattes cuivreuses de Freiberg et de Fahlun, les mattes brutes et les mattes concentrées des usines du pays de Siegen.

#### Arséniures et antimoniures métalliques.

Les *arséniures* et les *antimoniures métalliques* prennent naissance lors de la fonte de minerais arsénifères et antimonifères, et on leur donne nom de *speiss*. Dans ces combinaisons, se rassemblent le nickel et le cobalt, de sorte que fréquemment elles forment la matière première de l'extraction de ces métaux. Indépendamment du nickel et du cobalt, les speiss contiennent surtout du fer, fréquemment aussi du cuivre et de petites quantités de plomb, de zinc, de bismuth, d'or et d'argent. Ils sont en outre souvent mélangés avec les sulfures du cuivre, du fer, du plomb et du zinc.

On dénomme les speiss d'après le métal extractible dont la quantité est prédominante, par exemple, speiss de nickel, speiss de cobalt, speiss de cuivre, ou d'après les corps métallifères lors du traitement desquels ils se forment, par exemple, speiss de cuivre gris, qui prend naissance lors de la fonte de cuivre gris, speiss de fonte de crasses, qui se forme lors de la fonte de crasses.

Les speiss contiennent souvent en même temps de l'arsenic et de l'antimoine, mais fréquemment aussi seulement de l'arsenic. La composition des speiss dont la formation est la plus fréquente est  $\text{R}^2\text{As}$ ,  $\text{R}^3\text{As}$ ,  $\text{R}^4\text{As}$ ,  $\text{R}^5\text{As}$ , R étant un radical monovalent.

### Sels haloïdiques ou combinaisons des métaux avec les halogènes.

Parmi les combinaisons artificielles des métaux avec les halogènes, nous mentionnerons les combinaisons du chlore avec le cuivre, le bismuth, l'argent et l'or, ainsi que l'iodure d'argent. Ces composés sont produits, lors de l'extraction des métaux que nous venons de nommer, par traitement des corps métallifères au moyen du chlore ou de combinaisons de chlore, ou avec des combinaisons d'iode, pour en extraire ensuite les métaux par des procédés particuliers, dont il sera question ultérieurement.

### Carbures métalliques.

Comme carbures métalliques, nous mentionnerons les différentes sortes de fontes, qui se produisent dans le traitement des minerais de fer et trouvent emploi comme produits finis pour la fabrication d'objets coulés ou qui servent comme produits intermédiaires pour la préparation d'autres degrés de carburation du fer, du fer doux et de l'acier ; nous citerons aussi le ferro-manganèse, combinaison de fer et de manganèse avec du carbone, qui trouve également emploi lors de la préparation de différents degrés de carburation du fer, et le carbure de nickel, que l'on obtient lors de la fusion de certaines espèces de minerais de nickel (gar-niérite).

Le carbone se trouve dans le fer soit complètement combiné (carbure de fer), soit partie combiné, partie en mélange mécanique (graphite).

### Phosphures métalliques.

Parmi les phosphures métalliques, nous devons mentionner le fer phosphoreux, qui se produit lors du traitement de minerais de fer contenant du phosphore. Le fer phosphoreux contient, outre le phosphore, du carbone et du silicium et il est employé comme produit fini pour la préparation d'objets coulés, ou il sert comme produit intermédiaire pour la fabrication du fer doux et de l'acier. Le phosphore se combine avec le fer carburé jusqu'à une teneur de 20 p. 100 environ.

### Siliciures métalliques.

Le silicium métallique le plus important est la fonte. Celle-ci contient toujours du silicium, indépendamment du carbone. Le ferro-silicium prend naissance lorsque des silicates sont exposés à une haute température en présence de fer et de charbon. (Sans la présence du fer, le charbon ne sépare pas le silicium de l'acide silicique.) Comme cela a lieu pour le phosphore, le silicium peut aussi être absorbé par le fer dans des proportions très différentes.

On prépare avec intention du ferro-silicium et du ferro-silicium-manganèse avec des minerais de fer ou de manganèse, de l'acide silicique et du charbon, pour employer ces corps dans la préparation de l'acier fondu, comme agents de réduction des oxydes du fer et de l'oxyde de carbone (afin d'obtenir des pièces moulées exemptes de soufflures).

### Oxysels des métaux.

Parmi les oxysels métalliques, il y a lieu de mentionner surtout les sulfates, les arséniates, les antimoniates et les silicates.

#### *Sulfates.*

Le sulfate de plomb, le sulfate de cuivre, le sulfate de zinc, le sulfate de nickel et le sulfate d'argent sont les sulfates qui méritent surtout d'attirer l'attention.

Ils sont obtenus mélangés avec des oxydes et des sulfures lors du traitement des sulfures métalliques, ou bien sous forme de dissolutions par lixiviation avec de l'eau de corps contenant des sulfates ou par traitement de corps métallifères au moyen d'acide sulfurique (sulfate de cuivre, sulfate d'argent). Certains sulfates, surtout le sulfate de plomb, se rencontrent aussi sous forme de poussières (de fumées) dans les gaz et les vapeurs sortant des fours métallurgiques.

#### *Arséniates et antimoniates.*

Les arséniates et les antimoniates se forment lors du traitement des minerais et des produits métallurgiques arsénifères et antimonifères (par grillage ou fusion oxydante). Ils jouent un rôle dans l'extraction du nickel, du cobalt, de l'argent et du plomb antimonieux. Fréquemment aussi, ces corps se rencontrent parmi les éléments des fumées.

#### *Silicates.*

Les silicates sont de la plus haute importance pour la métallurgie. Ils se produisent lors du traitement des corps métallifères par le procédé de fusion et ils contiennent les acides non volatils et les bases qui doivent être séparés de ces corps. S'ils renferment des métaux en quantité extractible — qu'ils soient combinés chimiquement ou mélangés — ils constituent une matière pour l'extraction de ces métaux.

Dans d'autres cas, ils sont utilisés pour favoriser la séparation des métaux de corps métallifères, ou ils sont employés à des usages non métallurgiques, ou bien ils sont finalement rejetés comme sans valeur. Un seul silicate métallifère, le *smalt*, est un produit fini.

Le métallurgiste désigne sous le nom de *scories* les silicates obtenus artificiellement dans les usines métallurgiques. Dans un sens plus large, on comprend aussi sous la dénomination de *scories*, des oxydes métalliques fondus ou frittés, qui ne contiennent pas du tout d'acide silicique, ou seulement en petites quantités. On appelle de pareilles scories, qui se forment lors de l'épuration des métaux, *scories oxydées* par opposition aux *scories proprement dites*, qui renferment comme élément essentiel l'acide silicique. Outre l'acide silicique, les scories peuvent encore contenir les acides suivants : l'alumine, qui joue le rôle d'un acide et forme des aluminates, l'acide phosphorique, l'acide sulfurique, l'acide anti-

monique, l'acide arsénique, l'acide tungstique, l'acide chromique, l'acide vanadique, l'acide titanique, l'acide molybdique. Parmi les bases, les suivantes sont celles que l'on rencontre le plus fréquemment dans les scories : chaux, magnésie, baryte, alumine, protoxyde de manganèse, protoxyde de fer, oxyde salin de fer, ainsi que les oxydes du cuivre, du plomb, du nickel, du cobalt, du zinc et des métaux alcalins.

En outre, les scories renferment souvent des sulfures métalliques. Ces dernières possèdent la propriété de se mélanger par fusion avec les scories dans les proportions les plus différentes. Les sulfures métalliques que l'on rencontre le plus fréquemment dans les scories sont : le sulfure de potassium, le sulfure de baryum, le sulfure de fer, le sulfure de manganèse et le sulfure de zinc. Les combinaisons du fluor et du phosphore ont aussi la propriété de se mélanger par fusion avec les scories.

Pour ce qui regarde la *constitution chimique* des scories, on ne peut pas l'indiquer d'une façon positive, parce qu'il est possible que les scories fondues aient une constitution autre que celle des scories solidifiées soumises à l'analyse.

Nous savons que l'acide silicique forme avec les bases des combinaisons chimiques, mais aussi que les bases peuvent former entre elles de pareilles combinaisons. Ainsi, l'alumine s'unit à la magnésie, à la chaux et au sesquioxyde de fer pour former des aluminates, de même que la chaux et le sesquioxyde de fer se réunissent par fusion. Nous savons, en outre, que les scories peuvent dissoudre des oxydes, des silicates, des phosphates et des sulfures métalliques dans les proportions les plus diverses, sans former avec elles des combinaisons chimiques. Comme les scories silicatées ne sont pas produites dans les usines métallurgiques avec une seule base, différentes espèces de silicates peuvent aussi être contenues dans les scories.

C'est pour cela que l'on admet que les scories ne sont pas des combinaisons chimiques ayant une formule déterminée, mais des solutions de combinaisons chimiques les unes dans les autres.

Le métallurgiste classe les scories d'après leur teneur en acide silicique, d'après leur degré de silicification, parce que la teneur en cet acide exerce une grande influence sur la fusibilité des scories et sur la façon dont elles se comportent chimiquement. Les différents degrés de silicification, qui cependant ne doivent pas être confondus avec les silicates du chimiste (ortho, méta et polysilicates), sont les subsilicates, les singulosilicates, les sesquisilicates, les bisilicates et les trisilicates. Ces degrés de silicification se distinguent les uns des autres aussi bien par le rapport entre la somme des valences du silicium et celle des valences des radicaux basiques contenus dans la scorie, que par le rapport entre la teneur en oxygène de l'acide silicique et celle en oxygène des bases. Ce dernier mode de distinction est le plus ancien et est aussi actuellement encore fréquemment usité.

Pour ce qui est du rapport concernant la valence, dans le singulosilicate la somme des valences du silicium contenu dans la scorie est égale à celle des valences des métaux renfermés dans ce produit. Dans le sesquisilicate, la somme des valences du silicium est une fois et demie aussi grande que celle des valences des métaux de la scorie, dans le bisilicate

elle est égale au double, dans le trisilicate au triple et dans le subsilicate à la moitié seulement.

Pour ce qui regarde le rapport entre l'oxygène de l'acide silicique et celui des bases, dans le singulosilicate la teneur en oxygène de l'acide silicique est égale à celle des bases, dans le sesquisilicate elle est une fois et demie aussi grande, dans le bisilicate deux fois, dans le trisilicate trois fois et dans le subsilicate moitié moins grande.

Les deux modes de désignation des silicates sont expliqués par les formules suivantes :

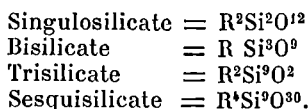
Pour les monoxydes et les radicaux bivalents :

	Formule moléculaire.	Formule dualistique.
Singulosilicate. . . . .	$R^2SiO^4$	$2ROSiO^2$
Bisilicate . . . . .	$RSiO^2$	$ROSiO^2$
Trisilicate. . . . .	$R^2Si^3O^8$	$2RO, 3 SiO^2$
Sesquisilicate . . . . .	$R^4Si^3O^{10}$	$4RO, 3SiO^2$
Subsilicate . . . . .	$R^4SiO^6$	$4ROSiO^2.$

Pour les sesquioxides et les radicaux trivalents :

	Formule moléculaire.	Formule dualistique.
Singulosilicate. . . . .	$R^4Si^3O^{12}$	$2R^2O^3, 3SiO^2$
Bisilicate . . . . .	$R^2Si^3O^9$	$R^2O^3, 3SiO^2$
Trisilicate. . . . .	$R^4Si^9O^{24}$	$2R^2O^3, 9SiO^2$
Sesquisilicate . . . . .	$R^8Si^9O^{30}$	$4R^2O^3, 9SiO^2$
Subsilicate . . . . .	$R^8Si^3O^{18}$	$4R^2O^3, 3 SiO^2$

Comme des radicaux trivalents ne se rencontrent pas dans les scories, nous allons indiquer encore les formules moléculaires pour les radicaux hexavalents :



Les degrés de silicification des scories allant au delà du trisilicate ne sont pas produits dans les usines métallurgiques, à cause de leur difficile fusibilité.

Les scories n'ont presque jamais une composition correspondant exactement aux degrés de silicification mentionnés.

Mais elles peuvent généralement être placées entre ces degrés et alors elles sont dénommées d'après le degré de silicification duquel elles se rapprochent le plus.

Comme on l'a dit, les scories contiennent les métaux qui doivent en être séparés aussi bien à l'état de combinaisons chimiques, qu'à l'état dissous ou en inclusions mécaniques. Les métaux qu'on en extrait sont surtout : le fer, le plomb, le cuivre, l'étain, l'argent, l'or.

On nomme les scories d'après le métal dans la préparation duquel elles se sont formées, et c'est ainsi que l'on dit, par exemple : scories de plomb,

de fer, d'étain, de cuivre, de nickel; ou bien on les désigne d'après le procédé particulier, dans la mise en pratique duquel elles ont pris naissance, et l'on dit alors; dans la métallurgie du fer : scorie de haut fourneau ou laitiers (voy. la note de la page 63), scories de puddlage, scories d'affinage, scories Bessemer, scories Thomas, scories de corroyage; dans l'extraction du plomb : scorie brute, scorie de matte, scorie de ressuage, scorie de raffinage; dans l'extraction du cuivre : scorie brute, scorie de concentration, scorie de cuivre noir, scories d'affinage et de raffinage.

#### Déchets métalliques de l'industrie.

Les déchets métallifères de l'industrie ont une composition extrêmement variée. Nous mentionnerons surtout les résidus plombifères des teintureries, des imprimeries sur tissus, des fabriques d'acétate de plomb et de céruse, que l'on a coutume de désigner sous le nom collectif de *cendres de plomb*.

### 3. — Achat des corps métallifères par les usines.

Les corps métallifères sont achetés par les usines métallurgiques, en tenant compte de leur teneur en métal, au poids, lorsqu'il s'agit de corps précieux, ou au volume si l'on a affaire à des corps de peu de valeur. Dans l'achat au poids, on se sert pour les corps les plus précieux de balances ordinaires, et dans les autres cas de bascules.

Lors de l'achat au poids, il arrive fréquemment que certaines quantités des corps métallifères se trouvant au-dessous d'une limite déterminée ne sont pas comptés par l'usine et restent par conséquent au profit de celle-ci.

De même, souvent aussi on ne tient pas compte de certaines fractions de la richesse métallique *réelle*, qui, par suite, profitent également à l'usine. On désigne sous le nom de *remèdes* ou *tolérances* ces quantités non comptées des corps métallifères, aussi bien que des métaux.

### 4. — Préparation mécanique préliminaire des corps métallifères avant leur traitement.

Les corps métallifères ont besoin dans beaucoup de cas, avant le traitement métallurgique proprement dit, d'être soumis à certaines opérations mécaniques préparatoires. Les plus importantes de ces opérations consistent à donner aux corps métallifères la forme convenable pour le procédé qui doit être employé pour la séparation du métal; à les débarasser de certaines matières solides qui y sont mélangées; à en expulser l'eau adhérente; à réunir ensemble les corps métallifères ayant des teneurs différentes en un seul et même métal, et destinés à être soumis au même procédé de séparation, en les mélangeant dans des proportions convenables et enfin d'ajouter aux corps métallifères les corps qui doivent produire ou favoriser la séparation des métaux qu'ils renferment.

**A. — Opérations ayant pour objet de donner aux corps métallifères la forme convenable pour le procédé de séparation.**

Suivant la nature du procédé de séparation, les corps métallifères doivent être broyés ou offrir la forme de morceaux. Il faudra donc, d'une part, diviser certains corps métallifères qui se trouvent à l'état de morceaux, et, d'autre part, réunir en morceaux agglomérés certains autres corps, qui sont sous forme de schlichs ou de poudre.

*Division des corps métallifères.*

La division des *corps cassants* peut être effectuée à l'aide de dispositifs de broyage les plus différents, tels qu'ils sont usités dans d'autres branches d'industrie. A ces dispositifs appartiennent les concasseurs ou broyeurs, les bocards, les cylindres, les marteaux-pilons, les meules verticales, les moulins à boulets, les moulins à meules horizontales, les moulins centrifuges, les mortiers. Le cuivre brut argentifère est d'abord rendu cassant par chauffage au rouge et il est ensuite cassé à la main à l'aide de marteaux en bois.

On réduit en petits grains, dits *grenailles*, les corps compacts malléables, comme, par exemple, l'argent aurifère et le cuivre argentifère, en les divisant à l'état fondu au moyen d'eau. A cet effet, on fait couler dans de l'eau en un mince filet le corps liquéfié par la chaleur, ou bien on le soumet à l'action d'un jet d'eau.

*Agglomération de corps métallifères divisés.*

Pour réunir en morceaux, pour agglomérer des corps métallifères divisés, on les mélange avec des matières agglutinantes de façon à en former des masses plastiques, que l'on moule ensuite en briquettes ou en boules. Comme matières agglutinantes, on emploie, par exemple, des eaux-mères acides (ferrisulfate), pour la pyrite contenant du cuivre pyriteux, de la chaux pour les schlichs de galène et les fumées, de l'argile pour les produits métallurgiques argentifères, du goudron pour l'oxyde de zinc.

**B. — Séparation de certaines matières solides mélangées aux corps métallifères.**

La séparation de ces matières a lieu, pour les minerais, si et autant que cela est possible, par préparation mécanique. Pour les produits métallurgiques, on procède aussi dans ce but d'après les règles de la préparation des minerais, en se servant des dispositifs usités pour cette préparation, autant du moins que cela se peut. Les corps à l'état divisé provenant des opérations métallurgiques sont séparés par criblage, tamisage et lavage, comme, par exemple, l'oxyde de zinc est séparé d'avec l'oxyde de plomb et les grenailles de plomb de mélanges de ces corps, tandis que les produits métallurgiques en morceaux contenant des métaux ne sont

que dépouillés par triage manuel ou mécanique des parties stériles, ou ils sont dans ce but broyés et soumis à une préparation mécanique.

Si les produits métallurgiques renferment des sels solubles dans l'eau, de nature à nuire au traitement de ces produits, on les élimine par lixiviation; c'est ainsi que, par exemple, on sépare le sulfate de zinc des minerais de plomb zincifères grillés.

#### C. — Élimination de l'eau adhérente aux corps métallifères.

L'élimination de l'eau adhérente aux corps métallifères a lieu par dessiccation. Dans nombre de cas, la dessiccation est précédée de l'expression de l'eau des corps métallifères à l'aide de filtres-presses ou de presses hydrauliques. (On emploie les presses hydrauliques pour l'or et l'argent de cémentation, les filtres-presses pour le sulfure de cuivre, le carbonate basique de zinc, etc. précipités par voie humide). La dessiccation est effectuée soit par la chaleur solaire, soit par la chaleur perdue d'autres fours ou bien dans des fours particuliers ou dans des étuves ou chambres disposées spécialement dans ce but.

#### D. — Mélange de corps métallifères de teneurs différentes en un seul et même métal.

Le *mélange* de corps métallifères, offrant des teneurs différentes en un seul et même métal, a pour but de réunir ces corps en proportions telles que l'on obtienne le rendement le plus favorable en métal et lors de l'opération de la fonte une scorification des matières étrangères. Cette opération, le **mélange des minerais**, est pratiquée fréquemment surtout avec des *minerais* de teneurs différentes en métal ou contenant des matières étrangères, ou des gangues différentes. Ainsi, on mélange des minerais riches avec des minerais pauvres, des minerais qui contiennent de l'acide silicique avec des minerais qui renferment des bases.

Le mélange est ordinairement effectué de la manière suivante : Les différentes sortes de corps métallifères sont étendues les unes sur les autres en couches horizontales, de façon à former une pyramide quadrangulaire tronquée, de faible hauteur, se composant de couches différentes. De cette pyramide, on enlève les corps métallifères par tranches verticales, de telle sorte qu'ils possèdent toujours la composition moyenne du mélange. Dans certains cas (dans la métallurgie du fer), le mélange n'est effectué que dans le haut fourneau, les différentes sortes de corps métallifères y étant chargées en proportions telles que l'exige la composition du mélange.

Pour effectuer le mélange, on se base sur la composition chimique moyenne des corps métallifères et des corps étrangers qui y sont mélangés, composition déterminée par l'analyse.

#### E. — Mélange des corps métallifères avec des corps qui produisent ou favorisent la séparation des métaux qu'ils renferment.

Les corps métallifères, qu'ils soient ou non mélangés, ont besoin dans un très grand nombre de cas d'être additionnés de corps destinés à pro-



duire ou à favoriser la séparation des métaux qu'ils contiennent. Ces corps peuvent être des solides ou des liquides.

On nomme **fondants** ou **additions** les corps solides de cette espèce. L'opération du mélange des corps métallifères avec les fondants est désignée sous le nom de **formation du lit de fusion** et le mélange achevé constitue le **lit de fusion** ou **charge**.

La composition du lit de fusion doit être réglée de façon que l'on obtienne avec la dépense la plus faible un rendement en métal aussi élevé que possible. On établit cette composition à l'aide de calculs stœchiométriques, basés sur la composition, déterminée par l'analyse, de tous les corps qu'il y a lieu de considérer, ainsi que sur celle de la scorie à obtenir, et cela en tenant compte des enseignements de la pratique. En s'appuyant sur les résultats du procédé de séparation relativement à la quantité du lit de fusion traitée en un temps déterminé, à la consommation de combustible, à la qualité et à la quantité des produits obtenus, ainsi qu'à la composition de ces derniers, on est à même d'établir la composition du lit de fusion et de l'adapter aux exigences d'un travail convenable.

Pour effectuer le mélange des minerais avec les fondants ou autres additions, lorsque les corps destinés à entrer dans sa composition doivent se trouver à l'état divisé, on mélange simplement ces derniers ensemble ou on broie ensemble leurs morceaux. Ainsi, par exemple, pour l'extraction du zinc, on mélange de l'oxyde de zinc et du charbon en petits morceaux ou sous forme de poudre ; en outre, on mélange du sesquioxyde de fer et du charbon en poudre pour l'obtention de fer spongieux (pour la précipitation du cuivre) ; les minerais ou les produits métallurgiques qui doivent être soumis à un grillage chlorurant sont intimement mélangés avec du sel marin, ou s'ils sont en gros morceaux ils sont broyés avec ce dernier à l'aide de moulins à meules verticales. Dans un certain mode d'extraction de l'argent (procédé du patio), des minerais d'argent, du sel marin et du sulfate de cuivre (dit *magistral*) finement moulés sont piétinés (triturerés) par des hommes, des chevaux ou des mules.

Si le lit de fusion doit être composé de morceaux ou partie de morceaux, partie de matière pulvérulente, on procède ordinairement de la manière suivante : Les différents corps sont étendus par couches les uns sur les autres, de façon à donner au lit de fusion la forme d'une pyramide quadrangulaire tronquée de faible hauteur avec une grande base et de grandes surfaces terminales. La hauteur du tas ainsi formé doit être ménagée de façon qu'on puisse enlever celui-ci par tranches verticales, qui possèdent alors la composition du lit de fusion.

Dans les procédés par fusion, on établit souvent les tas de lit de fusion, de façon que la quantité de matière entrant dans leur composition corresponde à celle qui est nécessaire pour un espace de temps de vingt-quatre heures. On donne à un pareil tas le nom de *charge de la journée*. Le lieu sur lequel, dans ce cas, le lit de fusion est préparé est appelé *aire de lit de fusion*.

Dans la métallurgie du fer, on prépare généralement le lit de fusion dans le haut fourneau même, en y versant les minerais et les additions dans les proportions qui correspondent à la composition du lit de fusion.

L'addition aux corps métallifères de certains *liquides* a pour but, dans

un grand nombre de cas, non seulement de mélanger intimement les deux corps, mais encore de réunir les corps pulvérulents en morceaux cohérents. Dans ce dernier cas, le mélange plastique est moulé en briquettes ou en boules. Ainsi, par exemple, on mélange des pyrites cuprifères pulvérulentes avec des eaux-mères acides de sulfate de fer, pour former du sulfate de cuivre par grillage de la masse ; on mélange de l'oxyde de zinc avec du goudron pour le réduire en zinc par le carbone du goudron ; on mélange des schlichs de galène quartzeux avec un lait de chaux, afin de les agglomérer, ainsi que pour produire la scorification du quartz ; on mélange des minerais pulvérisés contenant du cuivre sulfuré avec des lessives chargées de protochlorure de fer, afin de transformer, en abandonnant la masse à elle-même pendant longtemps, le cuivre en une combinaison soluble.

---

## CHAPITRE II

### PROCÉDÉS USITÉS POUR LA SÉPARATION DES MÉTAUX DES CORPS MÉTALLIFÈRES

Le mode de séparation des métaux des corps métallifères, dépend de leur état de combinaison et de leur nature. Dans un grand nombre de cas, une séparation directe des métaux n'est pas possible. On est forcé de les faire passer d'abord dans d'autres combinaisons, desquelles on les sépare directement ou après leur avoir encore fait subir une ou plusieurs autres modifications. En outre, dans un grand nombre de cas, un seul et même métal peut être séparé de la même combinaison d'après des procédés différents. Nous allons maintenant exposer tout d'abord d'une façon générale le procédé de séparation des métaux, après quoi nous décrirons avec certains détails les procédés métallurgiques les plus importants.

#### I. — PROCÉDÉS USITÉS POUR LA SÉPARATION DES MÉTAUX EN GÉNÉRAL

On distingue plusieurs procédés généraux de séparation des métaux.

Si l'on emploie pour la séparation de *hautes températures* et si en même temps on ne fait pas usage de dissolvants liquides à la température ordinaire, on nomme le procédé **procédé par voie sèche** ou simplement **la voie sèche**.

Si, au contraire, on emploie pour la séparation des dissolvants *liquides à la température ordinaire*, et si l'on n'a pas recours à de hautes températures (c'est-à-dire à des températures dépassant de beaucoup le point d'ébullition de l'eau), on donne au procédé le nom de **procédé par voie humide** ou on l'appelle simplement **la voie humide**. On emploie pour la séparation soit exclusivement la voie sèche, soit une combinaison de la voie sèche et de la voie humide. La séparation des métaux exclusivement par voie humide n'est actuellement pratiquée qu'exceptionnellement.

Si la séparation des métaux — que ce soit par voie sèche ou par voie humide — a lieu au moyen de l'électricité, qui est produite par des dispositifs particuliers et est dirigée à travers les corps métallifères, on donne à un pareil procédé le nom de **procédé électrométallurgique**. A cause des particularités qu'il présente, ce procédé doit être l'objet d'un examen spécial.

### 1. — Procédés par voie sèche.

Dans les procédés par voie sèche, on distingue différents modes de traitement des corps métallifères, suivant l'action de la chaleur employée sur l'état d'agrégation de ces derniers. Ainsi, des corps solides peuvent rester inaltérés ou être liquéfiés ou vaporisés. Dans nombre de cas, certains corps restent solides, tandis que d'autres corps sont liquéfiés ou vaporisés, ou bien certains corps sont liquéfiés, tandis que d'autres sont vaporisés.

Le traitement de corps métallifères solides ou de métaux à des températures qui restent sans influence sur l'état d'agrégation de ces corps, est appelé **calcination**, tandis qu'on nomme **fusion** leur traitement à des températures qui amènent une liquéfaction. Le traitement de corps solides et liquides à des températures qui produisent leur gazéification est appelé **vaporisation** ou **volatilisation**.

Dans beaucoup de cas, le traitement des corps métallifères ou des métaux séparés consiste en une combinaison de la calcination et de la fusion, de la calcination et de la vaporisation, ou de la fusion et de la vaporisation. Les dénominations dont il vient d'être question se rapportent en général à la manière dont se comportent les *combinaisons métalliques* ou les *métaux séparés*, mais non à la manière dont se comportent les corps exempts de métaux ou les corps exempts de métaux séparés. Si, par exemple, il se volatilise de l'acide sulfureux lors de la calcination de sulfures métalliques, de l'acide carbonique lors de la calcination de carbonates, on ne nomme pas ce traitement vaporisation, mais *calcination*, tandis que si, lors de la volatilisation de zinc ou de mercure, il reste des résidus *exempts de métal*, ce mode de traitement est appelé *volatilisation* ou *vaporisation*, mais non calcination. Mais, si dans ces cas il reste des résidus métalliques solides ou liquides, le traitement est une combinaison de la calcination et de la volatilisation ou de la fusion et de la volatilisation.

#### A. — Calcination.

La calcination a pour but de ne produire dans les corps métallifères qu'une modification physique, ou bien de les modifier à la fois physiquement et chimiquement. Elle consiste soit en un simple chauffage des corps en question, soit en un traitement de ces derniers à chaud avec des corps solides ou gazeux.

*Modes de calcination ne devant produire que des modifications physiques.*

Les modes de calcination ne devant produire que des modifications physiques sont :

La calcination des minerais en vue de leur désagrégation mécanique (par exemple, le fer oligiste), le soudage du fer, le réchauffage des métaux, afin de mieux les élaborer, le chauffage au rouge de cuivre brut

afin de le diviser, la dessiccation de minerais et de produits métallurgiques à haute température (dans des fours à réverbère).

L'élimination au moyen de la chaleur du bitume des schistes cuprifères constitue un mode particulier de calcination, qui ne doit pas modifier chimiquement le corps métallifère, mais en séparer une matière étrangère.

### *Calcination avec modifications chimiques.*

Les modifications chimiques que la calcination a pour objet sont :

L'**oxydation** de métaux ou de certains éléments de leurs combinaisons, la **réduction** de certains oxydes métalliques (oxydes de fer, de nickel) en métaux ou en degrés d'oxydation moins élevés ; la **chloruration** de certains métaux (c'est-à-dire leur transformation en chlorures métalliques), la **carburation** de certains métaux et la **décomposition d'hydroxydes et de sels métalliques**.

La **calcination avec action oxydante** a pour but la transformation de sulfures, d'arséniures, d'antimoniures, de séléniures et de tellurures métalliques à l'état de métaux ou d'oxydes et d'oxysels, l'oxydation de certains métaux (cuivre dans des alliages cuivre-argent-or), la suroxydation de certains oxydes métalliques (fer spathique en oxyde salin de fer), l'élimination de certaines quantités de carbone de la fonte (recuit ou cémentation oxydante, c'est-à-dire la transformation de la fonte blanche en fer malléable, par chauffage au rouge de celle-ci avec des corps cédant de l'oxygène, comme le sesquioxyde de fer).

La **calcination avec action réductrice** a pour but la réduction des oxydes du fer et du nickel en métaux.

La **calcination avec action chlorurante** a pour objet de transformer en chlorures certains métaux (cuivre, argent, or) contenus dans des alliages, des sulfures, des arséniures et des antimoniures, ainsi que dans des oxysels.

La **calcination avec action carburante** a pour but la transformation du fer en fonte (fer carburé) et le fer à un degré inférieur de carburation en fer à un degré de carburation supérieur.

La **calcination des hydroxydes** a pour objet l'élimination de l'eau qu'ils renferment.

La **décomposition des sels** a pour but l'expulsion d'acides volatils de sels métalliques (carbonates, sulfates, arséniate ; souvent pour les sulfates et toujours pour les arséniate en employant du charbon).

Pour certains des genres de calcination dont nous venons de parler, il existe des dénominations particulières, telles que : **calcination proprement dite**, **rôtissage**, **cémentation oxydante**, **cémentation**, **grillage**.

Sous le nom de **calcination proprement dite**, on désigne ordinairement l'expulsion de l'eau ou de l'acide carbonique de la calamine et de minerais de fer calcaires.

Le **rôtissage** (finage, mazéage) est l'opération au moyen de laquelle la fonte grise est préparée pour l'affinage (c'est-à-dire pour la préparation du fer ductile), opération qui consiste à chauffer au rouge le métal brut au contact de l'air. (Une partie du carbone et du silicium contenus dans

la fonte est ainsi oxydée et le graphite transformé en carbone amorphe.)

Sous le nom de **cémentation oxydante**, on désigne la préparation de fer malléable avec de la fonte blanche par chauffage de celle-ci avec des corps cédant de l'oxygène (sesquioxyde de fer, peroxyde de manganèse), qui oxydent une partie du carbone de la fonte.

Sous la dénomination de **cémentation**, on comprend deux modes différents de calcination.

Le premier a pour but la transformation du fer doux, malléable en acier riche en carbone (acier cémenté), par chauffage au rouge du premier dans de la poudre de charbon de bois ou dans des gaz contenant des hydrocarbures.

Le second mode de cémentation a pour objet la transformation superficielle en chlorure d'argent de l'argent contenu dans des alliages d'or et d'argent, afin de communiquer à ces alliages l'aspect d'alliages riches en or. Il consiste à chauffer au rouge des plaques des alliages en question dans un mélange pulvérulent de sel marin, d'alun, de sulfate ferreux et de poudre de briques.

Sous le nom de **grillage**, on comprend également différents modes de calcination.

Un mode de grillage a pour but l'élimination totale ou partielle du soufre, de l'arsenic, de l'antimoine, du sélénium, du tellure, des combinaisons de ces corps avec des métaux, avec transformation simultanée de ceux-ci en oxydes ou sulfates au moyen d'air ou de vapeur d'eau et le concours d'acide sulfurique à l'état de vapeurs; ce mode de grillage a souvent aussi pour objet l'oxydation de métaux contenus dans des alliages (cuivre dans des alliages or-argent-cuivre). On le nomme **grillage oxydant**, parce que les phénomènes auxquels il donne lieu sont surtout des processus d'oxydation.

Le second mode de grillage a pour but la transformation en *chlorures*, au moyen de combinaisons du chlore et de l'air, de certains métaux (cuivre, argent, or) contenus dans des alliages (cuivre brut argentifère), des sulfures, arséniures, antimoniures métalliques et dans des oxydes. On nomme ce mode de grillage, dans lequel il se produit surtout des processus d'oxydation, avec formation de chlorures métalliques : **grillage chlorurant**.

Le troisième mode de grillage a pour objet la décomposition d'hydroxydes et de sels métalliques (carbonates, sulfates, arséniates, antimoniates) par simple chauffage de ces corps au contact de l'air ou par chauffage avec du charbon. Ce grillage est alors appelé **grillage décomposant**. Il est pratiqué de façon qu'il ne se produise qu'une décomposition (grillage du fer spathique, de la calamine, de la cérussite), qu'il soit par conséquent seulement décomposant ou bien on le combine avec le grillage oxydant (décomposition de sulfates, d'arséniates, d'antimoniates).

Ces différents modes de grillage, dont la description sera donnée plus loin, sont de la plus grande importance pour le métallurgiste. Le but vers lequel ils tendent : rendre des corps métallifères propres pour la fusion et la vaporisation, ou pour la voie humide, et leur exécution au contact de l'air atmosphérique sont tout à fait caractéristiques pour ces opérations.

## B. — Fusion.

La **fusion** a pour but soit une liquéfaction complète des corps solides, soit une séparation par fusion de certains de leurs éléments. La séparation par fusion de certains éléments de corps solides porte le nom de **liquéfaction** ou de **ressuage**.

Dans un grand nombre de cas, dans le cours du procédé de fusion, des **corps solides sont séparés** avec intention de corps métallifères fondus, de sorte que le procédé en question fournit aussi bien des produits solides, que des produits pâteux ou même liquides. C'est ce qui a lieu lors de la décomposition de certains alliages, que ce soit par refroidissement des masses fondues (procédé Pattinson), par fusion de celles-ci avec certains métaux (désargentation par le zinc) ou par introduction d'agents oxydants (vapeur d'eau) dans les masses fondues chauffées à une haute température (dézingage du plomb désargenté), ainsi que lors de la préparation de fer soudé avec la fonte, par le procédé désigné sous le nom de puddlage.

Lorsque les corps solides se séparent des alliages fondus à l'état de cristaux, comme cela a lieu lors de la décomposition du plomb argentifère par refroidissement de ce dernier (procédé Pattinson) et lors de la préparation du fer soudé par puddlage, on nomme un pareil procédé **procédé par cristallisation**.

La fusion a pour but, comme la calcination, de faire subir aux corps métallifères seulement une modification physique, ou, en même temps que celle-ci, également une modification chimique.

Les fusions, qui ne produisent dans les corps métallifères que des **changements physiques**, sont : la refonte de métaux, d'alliages et de sulfures métalliques (fonte pour le moulage et la fabrication du fer fondu, alliages pour les moulages et pour la confection de plaques électrodes destinées à l'électrolyse, sulfures métalliques pour l'extraction du cuivre d'après le procédé Bessemer), la fusion de roches métallifères desquelles les métaux ou des combinaisons métalliques doivent se séparer d'après leur poids spécifique (fonte de schistes cuprifères), la séparation par fusion (liquéfaction ou ressuage) du bismuth et du sulfure d'antimoine des gangues qui les renferment, du plomb du produit désigné sous le nom d'abstrich, et qui consiste en un mélange de plomb et d'antimoniate de plomb.

Les fusions qui font aussi subir en même temps aux métaux et aux combinaisons métalliques (y compris les alliages) des **modifications chimiques**, sont surtout pratiquées en vue de l'obtention des effets suivants :

- a. L'oxydation de métaux et d'éléments combinés avec eux ;
- b. La réduction d'oxydes métalliques en métaux ou en degrés d'oxydation inférieurs ; la réduction de sulfates, d'arséniates et d'antimoniates en sulfures, arséniures et antimoniures ;
- c. La séparation de métaux, de sulfates, d'oxydes et de sulfures par décomposition réciproque des sulfures d'une part avec les oxydes ou les sulfates d'autre part (fusion avec réaction) ;
- d. La désulfuration de sulfures métalliques au moyen de métaux (fusion avec précipitation).

e. La sulfuration de métaux par le soufre ou avec des sulfures métalliques.

f. La transformation de métaux en arséniures;

g. La chloruration de métaux;

h. La carburation de métaux;

i. La dissolution de métaux dans d'autres métaux ou dans des sulfures métalliques;

k. La transformation en silicates de certains corps à séparer des métaux ou de combinaisons métalliques, ou la dissolution de ces corps dans des silicates;

l. La décomposition d'alliages;

m. La décomposition de sels.

#### a. — *Fusion oxydante.*

La fusion, dont le but principal est l'oxydation de métaux ou d'autres éléments combinés avec les métaux (soufre, phosphore, carbone, silicium, arsenic, antimoine) est désignée sous le nom de **fusion oxydante**.

Les principales sortes de fusions oxydantes sont : l'affinage de la fonte, la coupellation et le raffinage oxydant.

L'**affinage** de la fonte a pour but la transformation de celle-ci en fer malléable par oxydation d'une partie de son carbone, ainsi que des éléments étrangers (silicium, phosphore, soufre, etc.). L'oxygène atmosphérique, les oxydes du fer et les scories riches des feux d'affinerie (contenant de l'oxyde salin de fer) servent comme agents oxydants. L'affinage au bas-foyer, le puddlage, le procédé Bessemer, le procédé Thomas, le procédé Martin-Siemens constituent des espèces particulières d'affinage.

La **coupellation** a pour but la séparation des éléments d'alliages par transformation en oxydes des métaux les plus facilement oxydables et l'élimination de ces oxydes à l'état fondu. On emploie l'air comme agent oxydant. On sépare de cette manière le plomb d'avec l'or et l'argent, ainsi que d'avec le bismuth.

Le **raffinage oxydant** a pour but l'élimination de métaux bruts d'éléments étrangers par oxydation de ces derniers. On oxyde les éléments étrangers dans l'argent à l'aide de l'air, du salpêtre, du sulfate d'argent (plomb, bismuth), dans le plomb par l'air (arsenic, antimoine, étain), par la vapeur d'eau (zinc), par l'oxyde plomb (zinc), dans le cuivre au moyen de l'air (zinc, soufre, arsenic, antimoine, fer), de protoxyde de cuivre (soufre), dans le nickel brut au moyen de l'air (fer, carbone).

Le raffinage oxydant est, dans beaucoup de cas, combiné avec d'autres modes de raffinage, ainsi, par exemple, pour le cuivre, avec un raffinage réducteur (pour la réduction de l'oxydure de cuivre), pour le plomb avec un raffinage par liquation (pour l'élimination du cuivre).

#### b. — *Fusion réductrice.*

La fusion dont le but est la réduction d'oxydes et de sels est appelée **fusion réductrice**. Comme agents de réduction, on se sert du charbon ou de corps contenant du carbone, du phosphore et de phosphures métalliques, ainsi que de sulfures.



On doit employer ce mode de fusion, lorsque la température de réduction des métaux se trouve au-dessus de leur température de fusion et au-dessous de leur température de volatilisation (plomb, étain, antimoine). Mais, dans les cas où la réduction des métaux de leurs oxydes se produit au-dessous du point de fusion des métaux (fer, cuivre, nickel), on fait suivre la réduction d'une fusion, afin de scorifier les corps étrangers et de séparer les uns des autres à l'état liquide les métaux et les scories.

La réduction des sulfates en sulfures n'est pas ordinairement produite avec intention, mais elle a lieu lors de l'extraction du plomb d'un mélange d'oxyde et de sulfate de plomb au moyen du charbon. La réduction d'arséniates et d'antimoniates en arséniures et antimoniures métalliques s'observe lors de l'extraction du nickel, du cobalt, du cuivre et de l'argent de corps contenant de l'arsenic et de l'antimoine, ainsi que lors de l'extraction du plomb de l'antimoniate de plomb (abstrich).

#### c. — *Fusion avec réaction.*

La fusion, qui a pour but la séparation de métaux d'oxydes, de sulfates et de sulfures métalliques par décomposition mutuelle des deux premiers avec les derniers, est désignée sous le nom de **fusion avec réaction**. Elle trouve emploi dans l'extraction du cuivre, du plomb et de l'argent, en faisant agir du sulfate et de l'oxyde de plomb sur du sulfure de plomb ou du protoxyde et du bioxyde de cuivre sur du sulfure de cuivre, de l'oxyde d'argent sur du sulfure d'argent.

#### d. — *Fusion avec précipitation.*

La fusion, dont le but est la séparation de métaux de leurs combinaisons sulfurées au moyen d'autres métaux, est appelée **fusion avec précipitation**. Elle trouve emploi lors de la séparation du plomb du sulfure de plomb au moyen du fer, de l'argent du sulfure d'argent à l'aide du plomb, de l'antimoine du sulfure d'antimoine au moyen du fer.

#### e. — *Fusion avec sulfuration.*

La fusion, qui a pour but la séparation de certains métaux de leurs combinaisons par transformation des premiers en sulfates, est, appelé **fusion avec sulfuration**. On se sert ordinairement, comme agents de sulfuration, des sulfures métalliques; on n'a qu'exceptionnellement recours au soufre (à cause de sa trop grande volatilité).

La fusion avec sulfuration est employée pour l'élimination du cuivre d'alliages d'or et d'argent (d'après le procédé de RÖSSLER), par fusion de ces derniers avec du sulfure de cuivre ou du soufre. On s'en servait aussi autrefois pour l'élimination d'une partie de l'argent d'alliages d'or-argent (procédé de PFANNENSCHMIED), en formant, par fusion de l'alliage avec du soufre, du sulfure d'argent, qui était ensuite en partie décomposé par addition de litharge. Le procédé est surtout employé pour faire passer le cuivre de minerais et de produits métallurgiques dans une combinaison sulfurée, la **matte**.

Un mode de fusion particulier appartenant aussi à la fusion avec sulfuration et qui a pour but, outre la sulfuration, la formation d'un antimoine métallique est la séparation de l'or et de l'argent par affinage au moyen du sulfure d'antimoine. Le procédé consiste à fondre les alliages d'or et d'argent avec du sulfure d'antimoine. L'argent est alors séparé à l'état de sulfure, tandis que l'or est transformé en or antimonial, duquel l'antimoine est expulsé par volatilisation au moyen de la chaleur.

f. — *Fusion avec formation d'arséniures.*

La fusion, qui a pour objet la séparation de certains métaux de leurs combinaisons à l'état d'arséniures, est appelée **fusion avec formation d'arséniures**. Comme matières contenant de l'arsenic, on emploie le fer arsénical ou la pyrite arsénicale. A l'aide de ces corps, on sépare le nickel et le cobalt de différentes de leurs combinaisons, surtout des silicates. Le nickel et le cobalt sont ainsi obtenus sous forme de speiss, tandis que le fer est transformé en un silicate.

g. — *Fusion chlorurante.*

On emploie la fusion qui a pour objet la chloruration de métaux, la **fusion chlorurante**, pour la séparation de l'or et de l'argent d'alliages de ces métaux (procédé MILLER ou affinage par le chlore), en dirigeant un courant de gaz chlore dans l'alliage fondu; l'argent est alors transformé en chlorure et il se sépare à la partie supérieure de l'alliage sous une couverture de borax.

On transforme aussi en chlorure le zinc contenu dans des alliages (plomb zingueux), par fusion de ces derniers avec des chlorures des métaux alcalins.

h. — *Fusion carburante.*

On nomme **fusion carburante** la fusion qui a pour but la formation de carbures métalliques. On emploie comme agents de carburation le carbone et la fonte. Ce mode de fusion trouve emploi pour la préparation de l'acier fondu au creuset (fusion de fer doux avec de la fonte), pour la fabrication des fers Bessemer et Thomas (addition de fer fortement carburé à du fer décarburé ou filtration de fer décarburé à travers du charbon); pour la préparation du fer fondu au four à réverbère (fusion de fer doux avec de la fonte); pour préparer de la fonte (à laquelle on communique à l'état fondu un degré de carburation plus élevé au moyen de carbone); pour obtenir du nickel carburé (fonte de nickel) avec la garnièrite (silicate de nickel et de magnésium). Dans la préparation de la fonte et du nickel, la carburation est en partie produite par une calcination précédant la fusion.

i. — *Fusion dissolvante.*

On désigne sous le nom de **fusion dissolvante** la fusion qui a pour objet la dissolution de métaux dans d'autres métaux ou des sulfures métalliques. Parmi les métaux, le plomb est surtout employé comme dissolvant pour

l'or et l'argent. On nomme *emplombage* l'extraction de l'or et de l'argent à l'aide du plomb. Ordinairement, l'emplombage est combiné avec une fusion avec précipitation, une fusion réductrice ou une fusion avec réaction, au moyen desquelles le plomb est séparé de ses combinaisons. Dans d'autres cas, les corps contenant l'argent et l'or sont incorporés ou immergés dans le bain de plomb (imbibition).

Parmi les sulfures métalliques, on emploie comme dissolvant pour l'argent et l'or surtout le sulfure de fer (pyrite, pyrite magnétique, matte). L'argent est séparé par ce dernier à l'état de sulfure, l'or est absorbé à l'état métallique.

#### j. — *Fusion scorifiante.*

On appelle **fusion scorifiante** la fusion qui a pour but la transformation de corps à séparer des métaux ou de combinaisons métalliques en silicates ou la dissolution de pareils corps dans des silicates. Ce mode de fusion est, sauf un petit nombre de cas exceptionnels (préparation des smalts), combiné avec d'autres modes de fusion.

Les corps à scorifier sont des bases, des acides, des sels et souvent aussi des sulfures.

Les bases sont ordinairement des terres alcalines, des terres proprement dites et des oxydes de métaux lourds. L'acide est ordinairement l'acide silicique, plus rarement l'acide phosphorique, les sels sont surtout des silicates, des sulfates et des phosphates. Comme agents de scorification, on emploie surtout des silicates naturels et artificiels (scories), des bases, l'acide silicique, le spath fluor, et dans des cas rares le borax.

La connaissance de la composition, de la fusibilité et des conditions de formation des scories, dont il sera question à la fin du chapitre avec tous les développements nécessaires, offre la plus grande importance pour le métallurgiste.

#### k. — *Décomposition d'alliages.*

Il existe plusieurs modes de fusion pour la décomposition des alliages. On opère soit par fusion oxydante, par fusion chlorurante ou par fusion avec sulfuration, soit par liquation, cristallisation ou fusion des alliages avec d'autres métaux. Il a déjà été question précédemment des fusions oxydante, chlorurante et avec sulfuration.

Par **liquation**, on décompose des alliages de cuivre, argent et plomb, que l'on a préparés en fondant du cuivre argentifère avec du plomb. Lorsqu'on chauffe ces alliages jusqu'à une température déterminée, il s'en écoule (il resse) un alliage liquide de plomb et d'argent, tandis que le cuivre reste, allié avec de petites quantités de plomb et d'argent.

Par **cristallisation** (procédé PATINSON), on décompose du plomb argentifère en une partie riche en argent et une autre partie pauvre en argent. Cette dernière partie se sépare par le refroidissement lent de l'alliage, sous forme de cristaux, tandis que la partie riche en argent demeure liquide.

Par **fusion avec d'autres métaux**, on décompose des alliages de plomb

et d'argent à l'aide du zinc. On obtient, en fondant de pareilles alliages avec du zinc, du plomb exempt d'argent et un alliage de plomb, de zinc et d'argent, qui, par le refroidissement du bain métallique, se sépare à la surface de ce dernier sous forme d'une croûte.

#### m. — *Décomposition des sels.*

Il existe aussi, pour la décomposition des sels, différents modes de fusion. Cette décomposition a lieu, si elle n'est pas produite par fusion réductrice ou par fusion avec réaction, avec sulfuration ou avec formation d'arséniures, par fusion des sels avec des acides ou des bases, qui sont plus forts que les acides ou les bases contenus dans les sels.

Ainsi, on décompose le sulfate de plomb par l'acide silicique, pour le transformer en silicate de plomb ; on décompose les silicates de plomb par le protoxyde de fer, afin de combiner l'acide silicique au fer ; on sépare une grande partie du fer des silicates de fer, en fondant ces derniers avec de la chaux et du charbon.

#### C. — **Vaporisation.**

La vaporisation a pour but la séparation de métaux ou de combinaisons métalliques volatils d'avec des corps non volatils par vaporisation des premiers. Suivant l'état d'agrégation dans lequel les corps volatils sont précipités, on distingue deux modes de vaporisation, la sublimation et la distillation.

On nomme **sublimation** le mode de vaporisation dans lequel les corps volatilés sont précipités à l'état d'agrégation solide, et **distillation** celui dans lequel les corps volatilés sont, avant la solidification, précipités à l'état d'agrégation liquide. Ainsi l'arsenic, l'acide arsénieux, le sulfure d'arsenic et le cinabre se précipitant à l'état solide, sont par conséquent obtenus par sublimation, tandis que le mercure, le zinc et le cadmium sont recueillis à l'état liquide, par conséquent extraits par distillation.

Dans les deux modes de vaporisation, il reste toujours un résidu solide ou liquide. Ils sont donc toujours combinés avec une calcination ou une fusion.

La vaporisation a pour but soit une séparation par volatilisation immédiate de corps volatils préexistant à l'état libre d'avec les corps auxquels ils sont mélangés, soit une décomposition préalable des corps métallifères, et ensuite une séparation par volatilisation des corps volatils rendus libres par la décomposition. On nomme *vaporisation simple* le premier mode de vaporisation qui se passe sans réaction chimique, tandis que l'autre reçoit le nom de *vaporisation complexe*.

#### a. — *Vaporisation simple.*

Par vaporisation simple, on sublime l'arsenic et le sulfure d'arsenic de mélanges avec d'autres minéraux, on distille le mercure de corps qui contiennent ce métal mélangé mécaniquement.

### b. — Vaporisation complexe.

Dans ce mode de vaporisation, la décomposition qui doit précéder la volatilisation est produite par la chaleur seule ou par chauffage des corps métallifères avec d'autres corps.

α. La vaporisation complexe par la chaleur seule trouve emploi pour la décomposition d'alliages (séparation du mercure d'amalgames, du zinc d'alliages zinc-plomb-argent par distillation), pour la séparation de l'arsenic du fer arsénical ( $\text{FeAs}^2$ ), du sulfure d'arsenic de la pyrite arsénicale ( $\text{FeAs}^2 + \text{FeS}^2$ ).

β. La vaporisation complexe avec décomposition préalable par d'autres corps trouve emploi :

1° Pour la réduction de métaux volatils de leurs oxydes ou silicates à l'aide du charbon (extraction du zinc de l'oxyde et du silicate de zinc, du cadmium de l'oxyde de cadmium, de l'arsenic de l'acide arsénieux).

2° Pour l'extraction de métaux volatils de leurs combinaisons sulfurées par oxydation du soufre (extraction du mercure du cinabre par chauffage de ce dernier au contact de l'air).

3° Pour l'extraction de métaux volatils de leurs combinaisons sulfurées par combinaison du soufre à d'autres métaux (extraction du mercure du cinabre à l'aide du fer.)

4° Pour l'extraction d'oxydes métalliques volatils par chauffage de certaines combinaisons des métaux correspondant à ces oxydes au contact de l'air (extraction de l'acide arsénieux par chauffage de la pyrite arsénicale au contact de l'air).

5° Pour l'extraction de sulfures métalliques volatils par chauffage de certaines combinaisons des métaux volatils avec des sulfures métalliques dont les métaux ne sont pas volatils (extraction du sulfure d'arsenic par chauffage de fer arsénical avec de la pyrite de fer).

### Calcination, fusion et vaporisation réunies.

Comme on l'a déjà dit, la séparation des métaux ou des combinaisons métalliques par voie sèche a lieu généralement au moyen de la calcination et de la fusion ou de la vaporisation réunies. Une calcination précède alors fréquemment la fusion, comme lors de la réduction d'oxydes métalliques, lors de l'extraction du cuivre et du plomb de sulfures métalliques ; une calcination précède ordinairement la vaporisation, comme lors de l'extraction du zinc et du cadmium, lors de l'extraction du mercure du cinabre, et dans beaucoup de cas aussi, une fusion précède la vaporisation, comme lors de la séparation par distillation du zinc des alliages zinc-plomb-argent, lors de la séparation par distillation du mercure d'amalgames.

La calcination, la fusion et la vaporisation sont réunies lors de l'extraction simultanée de plusieurs métaux, par exemple, lors de l'extraction du zinc et du plomb de minerais de plomb zincifères ou de minerais de zinc plombifères.

## 2. — Procédés par voie humide.

Suivant la nature du dissolvant, on distingue :

A Les procédés de la voie humide dans le sens restreint.

B. Les procédés par amalgamation.

Dans les procédés de la voie humide dans le sens restreint, on emploie comme dissolvant de l'eau ou des solutions de corps, tandis que dans les procédés par amalgamation c'est le mercure qui sert de dissolvant. Dans quelques cas, les deux procédés sont réunis (amalgamation et chloruration de l'or, procédé DÉSIGNOLLE).

Les procédés de la voie humide dans le sens restreint comprennent aussi, indépendamment de la dissolution, la précipitation de métaux ou de combinaisons métalliques des dissolutions.

Dans le procédés par amalgamation, la séparation du mercure d'avec les métaux a au contraire lieu par voie sèche (par distillation).

### A. — Procédés de la voie humide dans le sens restreint.

Ces procédés consistent : 1<sup>o</sup> à faire passer les métaux ou les corps à séparer de ces derniers, ou les deux sous la forme de solutions liquides à la température ordinaire, au moyen de dissolvants appropriés, et 2<sup>o</sup> à séparer des métaux ou des combinaisons métalliques de ces dissolutions à l'aide d'agents de précipitation, ou par volatilisation du dissolvant.

Les dissolvants doivent faire entrer en dissolution tous les métaux à séparer d'un corps, de façon qu'il ne reste pas du tout de résidu, ou seulement un résidu sans valeur, ou bien ils doivent ne dissoudre que certains métaux, mais en laisser d'autres dans le résidu, ou bien encore ils ne doivent dissoudre que les éléments sans valeur, en laissant dans le résidu les métaux à extraire. On fait entrer, par exemple, tous les métaux en dissolution sans résidu, lors du traitement d'un alliage de cuivre et d'argent par l'acide azotique ou l'acide sulfurique concentré, afin de précipiter séparément les deux métaux de la dissolution (l'argent par le cuivre, le cuivre par le fer). On obtient un résidu sans valeur en dissolvant au moyen d'acides la malachite ou cuivre azuré d'un schiste siliceux ou d'un quartz, en dissolvant au moyen du chlore l'or d'un sable aurifère. On obtient un résidu et un liquide métallifères, lors de la séparation de l'argent et de l'or par l'acide sulfurique concentré, lors de la séparation du cuivre et de l'argent par l'acide sulfurique dilué, lors de la lixiviation, au moyen d'eau, de minerais de plomb grillés, afin de dissoudre le sulfate de zinc, de mattes de cuivre grillées par une solution d'hyposulfite de soude ou de sel marin pour dissoudre le chlorure d'argent, d'un mélange d'oxyde de zinc, d'oxyde de plomb et de plomb argentifère, par une solution de carbonate d'ammonium ou de l'acide sulfurique dilué, afin de dissoudre l'oxyde de zinc, d'une matte cuivreuse grillée au moyen d'eau bouillante acidifiée par l'acide sulfurique, pour dissoudre le sulfate d'argent. On obtenait autrefois un résidu métallifère et un liquide sans valeur, lorsque l'acide chlorhydrique était encore un produit secondaire gênant de la préparation de la soude

par le procédé Leblanc, en dissolvant à l'aide de l'acide chlorhydrique le spath calcaire de blendes contenant ce minéral.

Les métaux se trouvent dans les minerais et les produits métallurgiques dans un état de combinaison tel que le traitement par le dissolvant peut être effectué immédiatement (les vitriols par l'eau, la malachite ou l'azurite par l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique, l'or par le chlore ou une solution étendue de cyanure de potassium), ou bien, au contraire, ils doivent d'abord, au moyen de procédés particuliers, ordinairement de procédés de la voie sèche, être amenés à un état de combinaison convenable pour la dissolution; ainsi, par exemple, l'argent contenu dans des sulfures et des arséniures métalliques est transformé en chlorure, l'argent des mattes cuivreuses en sulfate, le cuivre renfermé dans des sulfures en sulfate ou en chlorure.

Les dissolvants sont l'eau pour les vitriols et le chlorure cuivrique, les acides pour les métaux, les alliages, les oxydes, les carbonates et le chlorure cuivreux, les hyposulfites pour le chlorure d'argent, les sels ammoniacaux pour l'oxyde de zinc et l'oxyde cuivrique.

Les précipitants les plus employés sont des métaux : le cuivre et le fer pour l'argent, le fer pour le cuivre, le zinc pour l'or, en outre le charbon de bois pour l'or, l'hydrogène sulfuré pour le cuivre et l'or, les sulfures des métaux alcalins et alcalino-terreux (sulfure de sodium, sulfure de calcium) pour l'argent, le chlorure ferreux pour l'or, le chlorure de chaux pour le cobalt sous forme de sesquioxyde, une solution de carbonate de soude pour le nickel, le sulfate ferreux pour l'or. On emploie aussi, comme il sera indiqué à propos des procédés électrométallurgiques, le courant électrique pour précipiter des métaux de leurs solutions (précipitation de l'or des solutions de cyanure d'or et de potassium).

La précipitation des métaux de leurs dissolutions par d'autres métaux est, comme il sera expliqué ultérieurement, un procédé électrolytique, dans lequel le métal de tension ou pression de dissolution plus élevée précipite le métal de tension de dissolution moins haute et entre en dissolution à sa place. Il existe pour la précipitation des métaux par d'autres métaux un ordre déterminé, qui cependant subit des modifications dans un grand nombre de cas. Cet ordre peut être établi d'après la tension de décomposition décroissante des sels des métaux considérés, qui se déduit des tonalités thermiques de ces combinaisons. Toutefois, il faut considérer que la forme de combinaison dans laquelle se trouve le métal dissous peut changer l'ordre, parce que des sels complexes possèdent une tension de décomposition plus élevée que des sels neutres, en outre qu'une série d'éléments forme en même temps des acides et des bases qui possèdent des tonalités thermiques différentes, de sorte que ces éléments ne peuvent pas être immédiatement placés dans l'ordre. Aux éléments qui forment des bases et des acides appartiennent : le chrome, le molybdène, l'uranium, le tungstène, l'arsenic, l'antimoine, le bismuth, le vanadium, le tantale, le titane, l'étain, le fer, le manganèse et le plomb.

Voici maintenant l'ordre dans lequel le métal précédent est précipité par le métal suivant :

Or, platine, palladium, argent, mercure, cuivre, plomb, étain, nickel, cobalt, fer, cadmium, zinc, manganèse, aluminium, magnésium.

Les choses ne se passent pas cependant exactement suivant cet ordre ; ainsi, par exemple, le fer n'est pas précipité par le zinc, le mercure en solution azotique est précipité par l'argent, tandis que, d'après la position de ces métaux dans l'ordre indiqué, c'est le cas contraire qui devrait se produire. Si plusieurs métaux se trouvent dans une dissolution, le métal qui est d'abord précipité est celui qui dans l'ordre précédent est le plus éloigné du métal précipitant. C'est de cette façon que l'on extrait le cuivre et l'argent des dissolutions de leurs oxydes.

Une précipitation par volatilisation du dissolvant se produit, par exemple, avec des dissolutions d'oxyde de zinc dans le carbonate d'ammonium : en soumettant ces dissolutions à l'ébullition, de l'ammoniaque et de l'acide carbonique sont volatilisés, tandis que le zinc est précipité à l'état de carbonate basique.

La dissolution et la précipitation sont ordinairement accompagnées de la séparation des corps solides d'avec les liquides par filtration, clarification, décantation, d'un lavage et d'une dessiccation des résidus, d'une évaporation ou d'une concentration des dissolutions, ainsi que, avec des dissolvants volatils, d'une séparation par distillation et d'une condensation du dissolvant.

#### B. — Procédés par amalgamation.

Ces procédés sont des procédés par dissolution, dans lesquels le mercure sert de dissolvant. On les emploie pour l'extraction de l'or et de l'argent. Ces métaux se combinent avec le mercure en formant des amalgames, qui sont à leur tour solubles dans un excès de mercure.

L'or, qui ne se rencontre pour ainsi dire qu'à l'état natif, peut être soumis à l'amalgamation soit directement, soit après avoir été débarrassé des particules des autres corps dans lesquelles il était enveloppé. L'argent, au contraire, doit, s'il n'est pas à l'état natif, ou sous forme de sulfure pur, être transformé à l'état de métal ou en chlorure, avant le traitement par le mercure. Pour convertir l'argent en chlorure, on traite le corps argentifère par une solution de bichlorure ou de protochlorure de cuivre, ou par grillage des corps avec du sel marin. La transformation des combinaisons d'argent à l'état métallique est effectuée par conversion de celles-ci en chlorure d'argent, de la manière qui vient d'être indiquée, et décomposition par le fer ou le cuivre du chlorure d'argent dissous dans une solution de chlorure de sodium. Le chlorure d'argent qui est traité directement par le mercure (procédé du patio) est décomposé par le mercure de la façon suivante : l'argent est séparé à l'état métallique, en même temps qu'il se forme du chlorure mercurieux, et l'argent devenu libre est absorbé par le mercure.

Le sulfure d'argent, en présence de fer, est décomposé directement par le mercure, qui absorbe l'argent séparé.

L'amalgamation est toujours suivie d'une séparation de l'amalgame d'avec les résidus, en outre, d'un lavage de ces derniers, afin de récupérer l'amalgame et le mercure qu'ils retiennent, ainsi que de l'élimination du mercure en excès de l'amalgame par compression de celui-ci.

La séparation du mercure d'avec l'or et l'argent a lieu par voie sèche, par distillation.



Dans le procédé DÉSIGNOLLE, et dans plusieurs autres procédés d'extraction de l'or, la voie humide dans le sens restreint est combinée avec le procédé par amalgamation. Dans le procédé DÉSIGNOLLE, on emploie une solution de chlorure mercurique, de laquelle au moyen du fer on précipite le mercure, qui de son côté produit l'amalgamation. Avec un grand nombre de minerais aurifères, on extrait d'abord une partie de l'or par amalgamation et on fait suivre celle-ci d'un traitement des résidus par le chlore, ou par une solution de cyanure de potassium, afin de transformer en chlorure d'or ou en cyanure d'or et de potassium l'or encore renfermé dans ces résidus.

### 3. — Procédés par voie électrométallurgique.

Le métallurgiste se sert du courant électrique aussi bien pour précipiter des métaux de solutions que pour faire passer dans des dissolutions les métaux contenus dans certaines combinaisons solides, et les précipiter de ces dissolutions. En outre, il emploie le courant dans quelques procédés d'extraction des métaux pour la production de la chaleur que ces procédés nécessitent. Les procédés qui reposent sur l'emploi du courant pour la précipitation de métaux de dissolutions ou pour la dissolution et la précipitation de métaux sont désignés sous le nom de *procédés électrométallurgiques* ou de procédés métallurgiques électrochimiques. Les principes de l'électrochimie sont applicables à ces procédés.

Les notions fondamentales nécessaires pour comprendre l'action du courant électrique, ainsi que la théorie des procédés électrométallurgiques sont exposées dans le Chapitre V (Production de l'électricité nécessaire pour l'extraction des métaux).

Le mouvement de l'électricité dans les corps qui la conduisent a lieu de deux façons différentes : par transport de particules chargées, qui changent leur charge, ou sans déplacement de particules matérielles. Dans le premier cas, on nomme les conducteurs *électrolytes* ou *conducteur de la deuxième classe*. La conduction elle-même est appelée *conduction électrolytique*. On désigne sous le nom de *conduction métallique* la conduction sans déplacement de particules matérielles et les conducteurs correspondants sont appelés *conducteurs de la première classe*. Les électrolytes les plus importants sont les solutions aqueuses des sels, des acides et des bases.

Les pôles par lesquels le courant pénètre dans les électrolytes ou sort de ceux-ci (ce sont les points où cesse la conduction électrolytique et où commence la conduction métallique) sont appelés électrodes, et l'on nomme *anode* le pôle positif ou le pôle par lequel entre le courant positif et *cathode* le pôle négatif ou le pôle par lequel sort le courant négatif. On appelle *ions* les atomes ou groupes d'atomes qui, de l'électrolyte, sont séparés aux pôles par le courant. Les ions qui se rendent au pôle positif et qui y sont séparés reçoivent le nom d'*anions* et celui de *cathions* est donné aux ions qui vont au pôle négatif et qui y sont séparés. Les anions des électrolytes nommés plus haut sont le chlore et d'autres restes d'acides, ainsi que le groupe OH; les cathions sont l'hydrogène, les métaux et les

groupes analogues aux métaux, comme  $AzH^3$ . On nomme *électrolyse* le processus qui se passe lorsque le courant traverse les électrolytes. Le récipient dans lequel se trouvent l'électrolyte, l'anode et la cathode est appelé cellule ou bain. Dans les procédés électrométallurgiques, le circuit se compose d'un bain ou d'une série de bains, du générateur du courant et des tiges métalliques (ordinairement en cuivre), qui relient les bains avec la source du courant et entre eux. Comme source de courant, on emploie exclusivement des machines dynamo-électriques. Les différentes parties du circuit doivent être des conducteurs du courant, parce que l'électrolyse n'est possible que dans un circuit fermé, c'est-à-dire qui n'est interrompu en aucun point par un corps non conducteur.

Pour mettre en évidence l'action du courant, versons une solution de sulfate de cuivre ( $Cu SO^4$ ) dans la cellule. Employons comme anode une plaque de charbon, comme cathode une plaque mince de cuivre. Si, maintenant, nous fermons le circuit, du cuivre ( $Cu$ ) se sépare à la cathode, tandis que du tétr oxyde de soufre ( $SO^4$ ) est séparé à l'anode. Le processus est représenté par l'équation suivante :



Si, au lieu d'une anode en charbon, nous prenons une anode en cuivre, le cuivre entre en dissolution et est séparé à la cathode, tandis qu'une quantité correspondante de  $SO^4$  se rend à l'anode. Si l'on continue l'électrolyse, l'anode, aussi loin qu'elle plonge dans le liquide, entre peu à peu en dissolution et est séparée à la cathode sous forme de cuivre.

On distingue les *procédés électrométallurgiques par voie sèche* et les *procédés électrométallurgiques par voie humide*. Dans les procédés par voie sèche, l'électrolyte se trouve à l'état fondu, tandis que dans les procédés par voie humide, il se trouve en solution aqueuse.

#### Procédés électrométallurgiques par voie sèche.

Abstraction faite de l'extraction des métaux alcalins et alcalino-terreux, ces procédés trouvent emploi pour l'extraction de l'aluminium, métal qui actuellement n'est préparé qu'à l'aide du courant électrique. On se sert comme électrolytes de solutions d'alumine dans des sels halogéniques fondus des métaux alcalins, des métaux alcalino-terreux et de l'aluminium. On a aussi proposé des mélanges fondus de fluorure et d'oxyfluorure d'aluminium avec des carbonates alcalins, ainsi que des solutions fondues de sulfure d'aluminium dans des chlorures alcalins et un mélange fondu de fluorure d'aluminium et de sulfure de sodium<sup>1</sup>. Les anodes sont en charbon, les cathodes en charbon ou en un métal refroidi. La dissolution des électrolytes est produite par l'action thermique du courant. Lors de l'électrolyse, l'oxygène de l'alumine se rend à l'anode et forme avec le carbone

<sup>1</sup> [Dès que ce mélange, proposé par G. GIN, entre en fusion, le fluorure d'aluminium et le sulfure de sodium agissent l'un sur l'autre, en échangeant leurs métalloïdes, et il en résulte un mélange de fluoaluminat de sodium et de sulfoaluminat de sodium.]

de celle-ci du gaz oxyde de carbone. L'aluminium se sépare à l'état liquide à la cathode.

SWINBURN a proposé d'extraire des métaux de leurs sulfures fondus. Ces derniers doivent être soumis à l'électrolyse dans un bain formé de chlorures métalliques fondus convenablement choisis (chlorure de plomb). Les métaux seraient ainsi séparés à la cathode à l'état liquide, tandis que le soufre se dégage sous forme de vapeurs.

#### Procédés électrométallurgiques par voie humide.

Ces procédés ont été dans ces derniers temps l'objet d'applications extrêmement nombreuses. On les distingue en procédés avec anodes insolubles et procédés avec anodes solubles. Il faut pour ces derniers une dépense d'énergie électrique beaucoup moindre que pour les premiers. C'est pour cela qu'ils sont très répandus.

#### *Procédés avec anodes insolubles.*

Dans ces procédés, la dissolution du métal a lieu en dehors du circuit. On emploie comme anode un corps insoluble dans l'électrolyte et non attaqué par les anions. On se sert ordinairement dans ce but de plaques de charbon. Une mince lame de métal sert de cathode. Cette lame est ordinairement formée du même métal que celui qui doit être précipité. La cathode et l'anode sont suspendues à une faible distance l'une de l'autre (égale à quelques centimètres seulement). Le métal se sépare à la cathode, l'anion à l'anode.

On emploie de pareils procédés pour l'extraction de l'étain, de l'or, du zinc. L'étain de déchets stannifères est dissous en dehors du circuit par traitement de ces derniers au moyen de perchlorure de fer ou de chlorure stannique, et il est ainsi transformé en une solution de chlorure stanneux. En soumettant celle-ci à l'électrolyse, on précipite l'étain à la cathode et de temps en temps on l'élimine de celle-ci à l'état cohérent. Les anions se composent de chlore, qui à l'anode, forme avec l'électrolyte appauvri en étain du perchlorure de fer ou du chlorure stannique, et régénère par suite le dissolvant. Celui-ci est réemployé pour la dissolution d'étain en dehors du circuit.

L'or est dissous sous forme de cyanure d'or et de potassium en dehors du circuit, par traitement des minerais aurifères avec une solution étendue de cyanure de potassium. On emploie comme anodes des plaques de tôle, comme cathodes des lames de plomb. L'or se dépose sur les cathodes pendant qu'aux anodes il se forme des cyanures de fer. Comme l'or ne peut que difficilement se séparer des cathodes, celles-ci sont fondues avec l'or qui y adhère et le plomb est séparé de l'or par coupellation.

Le zinc des minerais est dissous sous forme de chlorure en dehors du circuit. Les anodes se composent de charbon, les cathodes de lames de zinc ou de fer. Le zinc se précipite sur la cathode à l'état métallique, tandis que le chlore se sépare à l'anode, où il est recueilli et conduit sur de la chaux, afin de pouvoir être utilisé sous forme de chlorure de chaux.

Le zinc est enlevé de la cathode dès que le précipité qu'il forme a atteint une certaine épaisseur. Le procédé n'a pas encore été définitivement adopté.

*Procédés avec anodes solubles.*

Dans les procédés avec anodes solubles, le métal à précipiter est contenu dans l'anode en combinaison à côté d'autres métaux. De ces métaux, lorsqu'on ferme le circuit, le métal le plus électropositif de la série électromotrice entre en dissolution avant le plus électronégatif, tandis qu'au contraire le métal le plus électronégatif est d'abord précipité des solutions contenant plusieurs métaux. En employant une tension de courant convenable, il est par suite possible de faire entrer en dissolution un métal déterminé ou plusieurs des métaux contenus dans l'anode et d'en laisser d'autres indissous. On peut aussi de cette façon séparer de la dissolution un métal déterminé, pendant que d'autres métaux y restent. Ces particularités sont mises à profit pour la séparation des métaux les uns des autres et pour le raffinage des métaux. Ainsi, d'alliages de cuivre et d'argent formant les anodes du circuit, on sépare le cuivre à la cathode à l'aide d'une tension appropriée, tandis que l'argent indissous tombe au fond du bain, où il forme un dépôt, dit schlamm d'anodes. Dans ce cas, on emploie comme électrolyte une solution acidifiée de sulfate de cuivre. Une lame de cuivre sert de cathode.

Des alliages d'argent et d'or, on sépare l'argent à la cathode en employant une tension convenable, tandis que l'or reste indissous sous forme d'un schlamm. On emploie comme électrolyte une solution étendue d'azotate d'argent, et comme cathodes des lames d'argent.

Des alliages de platine et d'or, on sépare l'or en faisant entrer en dissolution les deux corps contenus dans l'anode, et séparant l'or à la cathode à l'aide d'une tension appropriée, mais laissant le platine dans la dissolution. Les cathodes sont des lames d'or, l'électrolyte est une solution de chlorure d'or mélangée avec un excès d'acide chlorhydrique.

Comme les procédés avec anodes solubles exigent beaucoup moins d'énergie électrique que les procédés avec anodes insolubles, les frais d'électrolyse avec les premiers sont beaucoup moins élevés qu'avec les seconds. C'est pourquoi ils ont pris une grande extension, tandis que les procédés avec anodes insolubles, abstraction faite de l'extraction de l'or, ne peuvent trouver avantageusement emploi que dans un petit nombre de cas. Le raffinage du cuivre brut contenant de l'or et de l'argent est actuellement effectué exclusivement à l'aide de l'électrolyse employée comme il est dit plus haut.

Lorsqu'on se sert d'anodes insolubles, on peut aussi parvenir à diminuer dans une certaine mesure la consommation d'énergie électrique, en faisant agir l'anion sur l'électrolyte et le portant ainsi à un degré plus élevé d'oxydation ou de chloruration, par exemple, par transformation du sulfate ferreux ou sulfate ferrique par l'oxygène séparé, par transformation des chlorures cuivreux, ferreux et stanneux en chlorures cuivrique, ferrique et stannique par le chlore séparé.

## H. — PROCÉDÉS MÉTALLURGIQUES D'UNE IMPORTANCE PARTICULIÈRE POUR LE MÉTALLURGISTE

Les matières premières métallifères sont, comme on l'a déjà dit, des alliages, des oxydes métalliques, des combinaisons des métaux avec un ou plusieurs des éléments : soufre, arsenic, antimoine, des combinaisons des métaux avec des halogènes, avec un ou plusieurs des éléments : silicium, phosphore, carbone, des sels métalliques, ainsi que des mélanges de différentes sortes, dans lesquels peuvent se trouver des métaux à l'état de régules, des combinaisons métalliques, des minéraux et des roches.

Il existe pour la séparation des métaux de ces combinaisons un grand nombre de procédés, qui, de même que le nombre des procédés de séparation chimique dans les laboratoires, augmente d'année en année. Dans beaucoup de cas, un seul et même métal peut être séparé de la même combinaison d'après des procédés différents. Le métallurgiste emploiera toujours le procédé qui, pour les conditions données, est le plus avantageux au point de vue économique.

Une description de tous les procédés actuellement connus pour la séparation des combinaisons nommées plus haut ne serait pas ici à sa place. C'est l'objet de la métallurgie ou de la métallurgie du fer. Il ne peut s'agir ici que d'énumérer les procédés offrant pour le métallurgiste une importance particulière. Ce sont :

- 1° *Le grillage oxydant des sulfures, arséniures et antimoniures métalliques ;*
- 2° *Le grillage chlorurant de ces mêmes combinaisons ;*
- 3° *La réduction des oxydes métalliques ;*
- 4° *La séparation des métaux des sulfures métalliques ;*
- 5° *La scorification des corps sans valeur dans les opérations de fusion.*

### 1. — Grillage oxydant des sulfures, arséniures et antimoniures métalliques.

Le grillage oxydant des sulfures, arséniures et antimoniures métalliques a pour but, comme on l'a déjà dit, l'élimination totale ou partielle du soufre, de l'arsenic, de l'antimoine des corps en question, avec transformation simultanée des métaux en oxydes, ainsi qu'en sulfates, lorsqu'il s'agit de sulfures. Comme agent oxydant, on emploie exclusivement l'air atmosphérique. On s'est aussi servi autrefois de la vapeur d'eau comme agent d'oxydation.

On emploie le grillage oxydant comme procédé de préparation préliminaire pour la séparation des métaux de leurs combinaisons avec le soufre, l'arsenic et l'antimoine. Dans la plupart des cas, ces combinaisons sont transformées par le grillage en oxydes, qui sont ensuite réduits en métaux à l'aide de charbon. Dans d'autres cas, les sulfures ne sont que partiellement convertis en oxydes, qui sont ensuite réduits par des sulfures métalliques. Dans d'autres cas encore, les sulfures doivent être transformés en

sulfates par le grillage oxydant ; ces derniers sont dissous par l'eau et les métaux sont précipités des dissolutions. Un petit nombre seulement de sulfures métalliques sont convertis directement en métaux (sulfure d'argent, sulfure de mercure).

#### A. — Grillage oxydant des sulfures métalliques.

Suivant la manière dont les oxydes métalliques formés aux dépens des sulfures doivent être réduits, on transforme ces derniers par le grillage oxydant entièrement ou partiellement en oxydes. Si le grillage doit être suivi de la réduction des oxydes par le charbon ou l'oxyde de carbone, on transforme complètement les sulfures en oxydes. Si, au contraire, la réduction des oxydes doit être effectuée par des sulfures métalliques (fusion avec réaction), on ne convertit qu'une partie du sulfure en oxyde ou en sulfate et l'on réduit les deux derniers corps à haute température au moyen de la portion du sulfure restée indécomposée (travail par grillage et réaction dans l'extraction du plomb et du cuivre).

Le grillage oxydant dans lequel fond une partie des sulfures métalliques est usité pour l'enrichissement du sulfure de cuivre dans les pyrites contenant du cuivre pyriteux et est connu sous le nom de *grillage pour noyaux*.

##### *Grillage oxydant au moyen de l'air.*

Si l'on grille des sulfures métalliques au contact de l'air, il se dégage de l'acide sulfureux, dès qu'est atteinte la température à laquelle se manifeste l'affinité de l'oxygène de l'air pour le soufre, tandis que le métal devenu libre, s'il n'est pas un métal précieux, est transformé en oxyde. Une partie de l'acide sulfureux se convertit en acide sulfurique, dont une partie se dégage, l'autre transformant les métaux en sulfates.

La transformation de l'acide sulfureux en acide sulfurique a lieu soit directement par l'oxygène de l'air atmosphérique, soit par action dite de contact, soit par des corps cédant de l'oxygène, soit par dédoublement de l'acide sulfureux en acide sulfurique et soufre.

L'action dite de contact consiste en ce que l'acide sulfureux et l'oxygène se combinent en formant de l'acide sulfurique, lorsque tous les deux sont mis en présence de certains corps incandescents, dits *substances de contact*. Ces dernières ont la propriété de condenser à leur surface l'oxygène et l'acide sulfureux et alors, par suite du rapprochement plus grand des molécules, la force d'attraction des deux corps est accrue au point qu'ils se combinent entre eux. Comme substances de contact de ce genre pouvant agir lors du grillage, on peut citer : les oxydes de fer, de manganèse, de cuivre, de plomb, de zinc, de nickel, de cobalt et l'argile calcinée.

Parmi les corps cédant de l'oxygène, qui transforment l'acide sulfureux en acide sulfurique, il faut surtout nommer le peroxyde de fer et le bioxyde de cuivre, qui en cédant de l'oxygène à l'acide sulfureux se convertissent en oxyde salin de fer ou oxydure de cuivre.

Un dédoublement de l'acide sulfureux en acide sulfurique et soufre se produit, lorsque, l'accès de l'air faisant défaut, il se trouve en contact avec

des métaux, des sulfures métalliques à l'état incandescent et d'un degré inférieur d'oxydation d'un corps pouvant former plusieurs oxydes.

La plupart des sulfates formés comme il vient d'être dit, sont, par une élévation de la température de grillage, décomposés totalement ou partiellement. Seul, le sulfate de plomb est fixe aux hautes températures et aussi, jusqu'à une certaine limite, le sulfate de bismuth.

Lors de la décomposition des sulfates, l'acide sulfurique en est expulsé et il reste les oxydes métalliques (ou les métaux, s'il s'agit des sulfates des métaux précieux). Des sulfates à bases faibles (sesquioxyde de fer, bioxyde de cuivre), l'acide sulfurique se dégage en majeure partie indécomposé; des sulfates avec des bases fortes, il est expulsé partie indécomposé, partie sous forme d'un mélange d'acide sulfureux et d'oxygène. L'acide sulfurique qui se dégage, ainsi que l'oxygène de l'acide sulfurique décomposé exercent une action oxydante énergique sur les sulfures métalliques non encore décomposés, l'acide sulfurique non décomposé se dédoublant alors en oxygène et acide sulfureux.

Le sulfate de fer est le sulfate qui se décompose à la température la plus basse; viennent ensuite le sulfate de cuivre, le sulfate d'argent, le sulfate de zinc basique.

En prolongeant suffisamment le grillage, divisant convenablement les sulfures et employant la température requise, on peut donc transformer en oxydes les sulfures métalliques, à l'exception du sulfure de plomb et du sulfure de bismuth et des sulfures des métaux précieux. D'autre part, on peut par un grillage conduit lentement et interrompu à temps, ne transformer qu'une partie des sulfures en oxydes, en laissant l'autre partie indécomposée.

Lorsque les sulfures métalliques sont soumis au grillage à l'état pulvérulent, on nomme *grillage préliminaire* la première partie de l'opération, dans laquelle se forment des oxydes et des sulfates, et *grillage définitif* la deuxième partie, dans laquelle les sulfates sont détruits et les dernières parties des sulfures oxydés.

#### *Manière dont se comportent au grillage les différents sulfures métalliques.*

La manière dont se comportent au grillage les différents sulfures métalliques et dont nous devons la connaissance principalement aux recherches approfondies de PLATTNER<sup>1</sup> est exposée dans les pages suivantes.

#### *Grillage des sulfures métalliques à l'état pulvérulent.*

Le sulfure d'or, le sulfure de platine et le sulfure d'argent perdent leur soufre sous forme d'acide sulfureux, tandis que les métaux correspondants se séparent.

(Le sulfure de mercure, comme on l'a déjà dit, n'est pas soumis au grillage, mais à la distillation. Lorsqu'on le chauffe au contact de l'air, son soufre se transforme en acide sulfureux, tandis que le mercure se sépare à l'état de vapeurs.)

Si le sulfure d'argent est combiné avec d'autres sulfures, qui, lors du

<sup>1</sup> C.-F. PLATTNER, *Traité théorique des procédés métallurgiques de grillage*. CH. BÉRANGER, éditeur, Paris.

grillage, se transforment partiellement en sulfates décomposables par la chaleur, il est converti en sulfate d'argent par l'acide sulfurique résultant de la décomposition des sulfates, et à une plus haute température, le sulfate d'argent est lui-même décomposé en argent, acide sulfureux et oxygène. En dirigeant convenablement la température, on peut transformer en sulfate la majeure partie de l'argent (procédé de ZIERVOGEL).

Le *monosulfure de fer* dégage d'abord de l'acide sulfureux en donnant naissance à de l'oxyde salin de fer. Une partie de l'acide sulfureux est transformée en acide sulfurique, qui forme d'abord du sulfate ferreux et ensuite du sulfate ferrique basique. L'oxyde salin est suroxydé et converti en sesquioxyde. La température s'élevant, le sulfate ferrique se dédouble en sesquioxyde de fer et acide sulfurique à l'état de vapeurs, par lesquelles est oxydé le sulfure de fer non encore décomposé. Ce grillage étant prolongé pendant un temps suffisamment long, on n'obtient finalement que du sesquioxyde de fer.

Le *bisulfure de fer* dégage un atome de soufre sous forme de vapeur, qui brûle au contact de l'air en se transformant en acide sulfureux. Le grillage se passe du reste de la même manière que pour le monosulfure de fer, de sorte que finalement on n'obtient aussi que du sesquioxyde de fer.

*Sulfure de cuivre.* — Le sous-sulfure de cuivre  $\text{Cu}_2\text{S}$ , est le seul qui, au point de vue du grillage, doit être considéré, le monosulfure de cuivre,  $\text{CuS}$ , étant décomposé par la chaleur en sous-sulfure de cuivre et en soufre.

Le sous-sulfure de cuivre dégage d'abord de l'acide sulfureux en formant en même temps du protoxyde de cuivre. Ce dernier est partiellement transformé en bioxyde, tandis qu'en même temps une partie de l'acide sulfureux est convertie en acide sulfurique. Une partie du bioxyde de cuivre forme avec une partie correspondante d'acide sulfurique du sulfate de cuivre. Une autre partie de bioxyde du cuivre est réduite en oxydure par l'acide sulfureux, qui est ainsi transformé lui-même en acide sulfurique.

Lorsque le sous-sulfure de cuivre est entièrement décomposé et que par suite il ne se dégage plus d'acide sulfureux, le protoxyde de cuivre qui existe encore est converti en bioxyde. La température s'élevant, le sulfate de cuivre est décomposé en bioxyde de cuivre et acide sulfurique ou acide sulfureux et oxygène. En dirigeant convenablement la température, on n'obtient finalement que du bioxyde de cuivre.

Le *sulfure de plomb* est transformé en un mélange d'oxyde de plomb et de sulfate de plomb; l'élévation de la température de grillage ne décompose pas ce dernier. Si l'on conduit le grillage de façon à laisser une certaine quantité de sulfure de plomb indécomposée, et si ensuite on élève beaucoup la température, le sulfure de plomb non décomposé donne, comme on l'a déjà dit, avec l'oxyde et le sulfate de plomb du plomb et de l'acide sulfureux.

Le *sulfure de bismuth*, comme le sulfure de plomb, est décomposé par le grillage en un mélange d'oxyde et de sulfate de bismuth, qui fond à de hautes températures. L'acide sulfurique ne peut être éliminé que difficilement et incomplètement du sulfate par un chauffage intense.



Le *sulfure de zinc* est converti en oxyde et sulfate de zinc. Le sulfate se décompose au rouge en sulfate de zinc basique, acide sulfureux et oxygène. Le sulfate de zinc basique ne se décompose qu'au rouge blanc en oxyde de zinc et acide sulfurique ou acide sulfureux et oxygène. En élevant convenablement la température, on peut, d'après cela, transformer le sulfure de zinc en oxyde.

Le *sulfure de nickel*, le *sulfure de cobalt* et le *sulfure de manganèse* se comportent au grillage comme le sulfure de zinc.

Le *sulfure d'antimoine* dégage de l'acide sulfureux en donnant naissance à de l'oxyde d'antimoine. Ce dernier se transforme en partie en acide antimonique, qui forme avec l'oxyde d'antimoine encore présent de l'antimoniote d'oxyde d'antimoine. On obtient surtout comme résultat du grillage de l'antimoniote d'oxyde d'antimoine.

(Le sulfure d'arsenic n'est pas soumis au grillage, mais à la sublimation et il se transforme au contact de l'air en acide sulfureux et acide arsénieux.)

#### *Manière dont se comportent au grillage les sulfures métalliques composés.*

Parmi les sulfures métalliques composés offrant de l'importance pour le métallurgiste, le *cuivre pyriteux* ( $\text{Cu}^2\text{FeS}^2$ ) et le *cuivre panaché* ( $\text{Cu}^2\text{FeS}^3$ ) se transforment au rouge en un mélange de bioxyde de cuivre et de sesquioxyde de fer.

De même, la *matte de cuivre*, qui se compose de sulfure de cuivre et de sulfure de fer, peut être transformée par grillage en un mélange de bioxyde de cuivre et de sesquioxyde de fer.

La *matte brute*, qui est une combinaison de sulfure de fer avec des quantités variables de sulfure de plomb, de sulfure de cuivre, de sulfure de zinc et de sulfure d'argent, se transforme lors du grillage en un mélange de sesquioxyde de fer, d'oxyde de plomb, de bioxyde de cuivre, d'oxyde de zinc, d'argent, de sulfate de plomb, de sulfate de zinc basique, avec une certaine quantité de sulfures métalliques indécomposés.

#### *Grillage des sulfures métalliques en morceaux.*

Le grillage des sulfures métalliques en morceaux est beaucoup plus lent et beaucoup moins parfait que celui des sulfures pulvériformes.

L'oxydation des sulfures commence à la surface des fragments et de là elle se propage peu à peu vers l'intérieur. Comme sous l'influence du grillage les parties superficielles des morceaux deviennent poreuses et se fissurent, l'air peut pénétrer à l'intérieur de ces derniers.

Les morceaux peuvent être d'autant plus gros que leur teneur en soufre est plus élevée. Ici, on ne peut pas établir une distinction entre le grillage préliminaire et le grillage définitif.

#### *Formation de sulfates par grillage oxydant.*

Certains sulfures métalliques peuvent être transformés plus ou moins en sulfates par grillage oxydant. La sulfatation peut être favorisée par

addition, lors du grillage, de pyrites et de sulfates facilement décomposables par la chaleur. L'addition de pyrites donne lieu à la formation de sulfate de fer facilement décomposable et de vapeurs d'acide sulfurique. Les sulfates se décomposant avec facilité dégagent des vapeurs d'acide sulfurique. Ces vapeurs, sous l'influence de la chaleur résultant du grillage, se décomposent à leur tour en acide sulfurique et oxygène, et ce dernier exerce une action oxydante énergique sur les sulfures métalliques ou provoque leur transformation en sulfates. Ainsi, il est possible, en soumettant à un grillage oxydant lent de la poudre de pyrites cuivreuses contenant de la pyrite de fer et pauvres en cuivre, de transformer la majeure partie du cuivre en sulfate, si l'on a eu soin de mélanger intimement à la poudre du sulfate de fer. Lorsque la teneur en cuivre est élevée, une partie seulement de ce dernier est convertie en sulfate. Le sulfate d'aluminium agit comme le sulfate de fer. Du minerai grillé, le sulfate de cuivre peut être séparé par lixiviation avec de l'eau et l'on peut ensuite précipiter le cuivre de la dissolution au moyen du fer.

On peut, d'une manière analogue, transformer en sulfate une partie du zinc de sulfure de zinc mélangé avec de la pyrite. On met à profit cette réaction pour préparer du sulfate de zinc avec les blends contenant de la pyrite.

En abandonnant le minerai grillé au contact de l'air, on favorise la formation du sulfate. C'est ainsi que du sulfure de fer abandonné pendant longtemps à lui-même à l'air humide se transforme en sulfates ferreux et ferrique, que de la blende, de même qu'un mélange de pyrite de fer et de cuivre pyriteux, placés dans les mêmes conditions, se convertissent respectivement en sulfate de zinc et en un mélange de sulfates ferreux et ferrique et de sulfate de cuivre. En ajoutant une certaine quantité de chaux à la galène et opérant le grillage dans certaines conditions de température, on peut transformer en sulfate la majeure partie du sulfure de plomb (procédé de HUNTINGTON et HEBERLIN).

Des sulfates formés lors du grillage, il se décompose à une haute température d'abord le sulfate ferreux et après lui le sulfate ferrique, puis vient le sulfate de cuivre, ensuite le sulfate d'argent et le sulfate basique de zinc. Le sulfate de plomb n'est pas généralement décomposé à la température de grillage, et le sulfate de bismuth ne l'est qu'incomplètement.

L'ordre de décomposition qui vient d'être indiqué persiste, même lorsque plusieurs sulfates sont mélangés ensemble.

Lorsqu'on grille une combinaison de sulfure de cuivre avec un peu de sulfure d'argent, il se forme d'abord du sulfate de cuivre ; la température s'élevant, ce dernier se décompose en bioxyde de cuivre et acide sulfurique ou acide sulfureux et oxygène. L'acide sulfurique à l'état de vapeurs oxyde le sulfure d'argent en le transformant en sulfate, qui demeure fixe à la température de décomposition du sulfate de cuivre, mais qui à une plus haute température se décompose en oxygène, acide sulfurique et argent. On peut donc au moyen d'un grillage convenablement dirigé convertir en sulfate la majeure partie de l'argent de combinaisons de sulfure de cuivre et de sulfure d'argent, si les deux sulfures s'y trouvent dans des proportions déterminées, et en même temps transformer le cuivre en

bioxyde (procédé de ZIERVOGEL). Le sulfate d'argent peut être dissous au moyen d'eau bouillante acidifiée par l'acide sulfurique et l'argent précipité de la dissolution au moyen du cuivre ou du fer.

#### *Grillage pour noyaux.*

Le grillage pour noyaux est un grillage oxydant des sulfures métalliques, combiné avec la fusion d'une partie de ces derniers. Il a pour but l'enrichissement de certains sulfures métalliques dans des fragments de minerais par formation d'un noyau dans le milieu de ces derniers. Ce grillage est applicable aux sulfures métalliques qui contiennent du sulfure de cuivre ou du sulfure de nickel. La pyrite de fer à structure dense contenant du cuivre pyriteux est le minerai dont les fragments, par un grillage oxydant lent, se laissent le mieux décomposer en un noyau, dans lequel s'est enrichi le sous-sulfure de cuivre, et en une croûte formée de sesquioxyde de fer et d'un peu de bioxyde et de sulfate de cuivre. Dans un pareil grillage, le sulfure de fer est immédiatement oxydé, tandis que le sulfure de cuivre, par suite de sa grande affinité pour le soufre, reste indécomposé. La chaleur dégagée par l'oxydation du sulfure de fer suffit pour fondre le sulfure de cuivre. Ce dernier, traversant la croûte poreuse du sesquioxyde de fer qui s'est produit par suite de l'oxydation du sulfure de fer, pénètre à l'intérieur de chaque fragment de minerai, et là se réunit aux sulfures non encore décomposés. De cette façon, il se forme d'abord, au-dessous de l'enveloppe poreuse de sesquioxyde de fer un anneau dense et étroit entourant le minerai non décomposé et offrant la couleur du cuivre pyriteux. A mesure que la croûte poreuse devient plus épaisse, cet anneau avance concentriquement vers l'intérieur du fragment et il offre à sa surface de contact avec la croûte une coloration d'abord violette, puis bleue, grise et enfin bronzée. Ces différents anneaux avancent peu à peu vers l'intérieur du fragment, qui, finalement, offre aussi une couleur de bronze. Les noyaux bronzés se composent de sulfure de cuivre, ne contenant qu'un peu de sulfure de fer. Lorsque tout le sulfure de fer est oxydé, il peut aussi s'oxyder du sulfure de cuivre, si l'on pousse le grillage trop loin. Il se forme de l'oxydure de cuivre qui, avec une partie du sulfure, se décompose en cuivre et acide sulfureux.

L'oxydation du sulfure de fer à l'intérieur du fragment est produite en majeure partie par l'acide sulfurique à l'état de vapeurs formé pendant le grillage, puisque l'intérieur des morceaux est rempli de vapeurs d'acide sulfurique et de soufre.

Le grillage étant bien conduit, on obtient des noyaux, qui, suivant la teneur en cuivre des minerais, renferment 7 — 60 p. 100 de cuivre, et des croûtes qui ne contiennent que quelques unités pour 100 de cuivre, sous forme de sulfate, et des quantités encore plus faibles de bioxyde de cuivre.

On extrait le cuivre des croûtes en dissolvant le sulfate par lixiviation avec de l'eau et précipitant la solution par le fer ; les noyaux sont traités par voie sèche (grillage oxydant) et réduction subséquente des oxydes ou par fusion avec des oxydes de cuivre. Le sulfure de nickel aurait aussi de la tendance à former des noyaux.

*Remplacement du grillage oxydant des sulfures métalliques par leur fusion oxydante.*

Dans certains cas, la transformation partielle des sulfures métalliques en oxydes par grillage oxydant peut être remplacée par une fusion oxydante de ces sulfures.

On emploie ce procédé pour l'extraction du cuivre du sulfure de cuivre et du sulfure de cuivre et de fer (matte cuivreuse).

Si l'on fond des sulfures métalliques ou des combinaisons de plusieurs sulfures métalliques, et si à travers la masse fondue on fait passer de l'air sous pression, l'oxydation est très rapide et très vive. Il ne se forme pas alors de sulfates décomposables à la température de fusion des sulfures. Si les oxydes métalliques produits peuvent réagir avec les sulfures non encore décomposés, les métaux deviennent libres et il se dégage de l'acide sulfureux.

Avec les combinaisons de plusieurs sulfures métalliques, les métaux qui sont d'abord oxydés sont ceux qui ont le moins d'affinité pour le soufre et le plus pour l'oxygène. Ainsi, d'une combinaison de sulfure de fer et de sulfure de cuivre, le fer est d'abord séparé à l'état d'oxydure. Si l'on fait en sorte que le fer, aussitôt après son oxydation, puisse passer dans une scorie facilement fusible, le sulfure de cuivre peut en être séparé complètement. Si maintenant on fait passer dans le sulfure de cuivre dépouillé de fer de l'air sous une pression plus forte, il est en partie transformé en oxydure de cuivre, qui avec le sulfure de cuivre non encore décomposé se convertit en cuivre et acide sulfureux.

Ces réactions forment la base du procédé d'extraction du cuivre au convertisseur.

On emploie le même procédé pour éliminer le sulfure de fer des combinaisons de sulfure de cuivre, de sulfure de fer et de sulfure de nickel (matte brute), de façon à obtenir une combinaison de sulfure de cuivre et de sulfure de nickel (matte de nickel et de cuivre).

L'oxydation du cuivre par fusion oxydante et la réaction de l'oxydure de cuivre sur le sulfure de cuivre peuvent aussi être produites dans des fours à réverbère. En Angleterre, ce procédé est désigné sous le nom de *rôtissage (roasting)*.

*Grillage oxydant au moyen de vapeur d'eau.*

Ce mode de grillage n'est plus employé, parce que, à cause de la production de la vapeur d'eau, il est coûteux et que cette dernière n'est pas un agent d'oxydation aussi bon que l'air atmosphérique.

D'après les expériences de REGNAULT, de CUMENGE et de PLATTNER<sup>1</sup>, il ne se produit qu'une décomposition très lente lorsqu'on grille des sulfures métalliques dans la vapeur d'eau. Il se forme des oxydes métalliques ou des métaux, s'il s'agit de métaux précieux, ainsi que de l'acide sulfureux et de l'hydrogène sulfuré.

<sup>1</sup> *Procédés métallurgiques de grillage*, p. 245.

Le *sulfure d'argent* se transforme alors en argent métallique, qui se présente sous forme de petites masses spongieuses ou de fils.

(Une partie du sulfure de mercure se volatilise sans décomposition, une autre partie est transformée en métal. Toutefois, ce procédé n'est point un procédé de grillage, mais un procédé de vaporisation.)

Le *sulfure de cuivre* n'est que peu altéré au rouge, tandis qu'au rouge blanc il est en majeure partie transformé en métal.

Le *sulfure de fer* est transformé au rouge en oxyde salin de fer.

Le *sulfure de zinc* n'est converti qu'au rouge blanc en oxyde de zinc.

Le *sulfure de plomb* se décompose lentement et incomplètement avec séparation d'une faible quantité de plomb.

Le *sulfure de bismuth* se comporte comme le sulfure de plomb.

Le *sulfure d'antimoine* est partie volatilisé, partie transformé en oxy-sulfure.

(Le sulfure d'arsenic est partie volatilisé, partie converti en acide arsénieux. Ce procédé est aussi un procédé de vaporisation.)

#### B. — Grillage oxydant des combinaisons de l'arsenic.

Les arséniures métalliques se comportent au grillage oxydant d'une façon analogue à celle des sulfures.

L'arsenic est oxydé et transformé en acide arsénieux,  $As_2O_3$ , tandis que le métal est converti en oxyde, si c'est un métal non précieux, ou séparé à l'état libre, si c'est un métal précieux.

Une partie de l'acide arsénieux, qui est volatil, se dégage inaltéré, l'autre partie se convertit par oxydation en acide arsénique. Les métaux qui, à une haute température, peuvent former des arsénates (comme le nickel, le cobalt, le fer et l'argent), s'unissent à une partie de l'acide arsénique pour donner naissance à ces combinaisons. Une autre partie de l'acide arsénique est ramenée à l'état d'acide arsénieux, aussi bien par le contact avec des arséniures métalliques inaltérés, qu'avec des oxydes métalliques, qui sont à un degré d'oxydation inférieur.

D'après les recherches de PLATTNER, l'acide arsénique se forme dans le grillage oxydant aux dépens de l'acide arsénieux, de la même manière que l'acide sulfurique aux dépens de l'acide sulfureux : 1° directement par combinaison avec l'oxygène de l'air atmosphérique; 2° par action de contact; 3° par absorption d'oxygène de corps qui peuvent céder ce gaz (bioxyde de cuivre, sulfates); 4° par dédoublement de l'acide arsénieux en acide arsénique et arsenic ou sous-oxyde d'arsenic au contact de corps solides indifférents ou au contact d'oxydes métalliques, qui ne cèdent pas d'oxygène à l'acide arsénieux, mais se combinent avec l'acide arsénique, comme, par exemple, le protoxyde de nickel.

On obtient ainsi, le grillage des arséniures métalliques étant prolongé pendant un temps suffisamment long, un mélange d'oxydes métalliques et d'arsénates.

Si, pendant le grillage, de l'acide sulfurique à l'état de vapeurs, produit aux dépens de sulfures ou de sulfates mélangés aux arséniures métalliques, agit sur ces derniers, les arséniures sont transformés en sulfates.

Lors du grillage d'*arséniure de fer*, on obtient surtout, à cause du peu

de tendance du sesquioxyde de fer à former des arsénates, du sesquioxyde de fer et une petite quantité seulement d'arséniate de fer.

L'*arséniure de nickel* et l'*arséniure de cobalt* (ainsi que la nickéline et la smaltine ou cobalt arsénical) sont transformés par le grillage en arsénates basiques.

Si les arséniures métalliques renferment de l'*argent*, ce dernier est en majeure partie converti en arséniate d'argent, le reste étant séparé à l'état de métal, dont une partie est volatilisée.

La *pyrite arsénicale* (sulfure de fer + sulfure d'arsenic) dégage au-dessous du rouge des vapeurs de sulfure d'arsenic ; au rouge, elle est transformée, avec dégagement d'acide sulfureux et d'acide arsénieux, en un mélange de sesquioxyde de fer, de sulfate de fer et d'arséniate de fer.

La *proustite* ou *argent rouge clair*,  $3\text{Ag}^2\text{S}, \text{As}^2\text{S}^3$ , se convertit avec dégagement d'acide sulfureux, d'acide arsénieux et de sous-oxyde d'arsenic, en un mélange d'argent métallique et d'arséniate d'argent. En pulvérisant à plusieurs reprises la masse pendant le grillage, il ne se forme que de l'arséniate d'argent.

Les *cuvres gris arsénicaux* sont transformés par le grillage en un mélange d'oxydes métalliques, d'argent métallique (produit aux dépens des sulfates de l'argent), de sulfates et d'arsénates.

Les arsénates soumis à l'action de la chaleur restent en majeure partie inaltérés ; aussi, n'est-il pas possible, au moyen d'un grillage oxydant, d'en éliminer tout l'arsenic. C'est pour cela que, afin de favoriser l'élimination de ces éléments, on ajoute aux arsénates formés lors du grillage de la poudre de charbon, ou des corps contenant du charbon (sciure de bois, aiguilles de pin). L'arséniate de fer est ainsi assez facilement transformé en sesquioxyde de fer, l'acide arsénique étant converti par le charbon, avec formation d'acide carbonique, en acide arsénieux et sous-oxyde d'arsenic. Les arsénates de cobalt et de nickel sont réduits à l'état d'arséniures, qui, au contact de l'air, se transforment en arsénates basiques. Par traitement répété de ces sels au moyen de charbon pendant le grillage et oxydation subséquente des arséniures métalliques formés, on peut éliminer une très grande quantité de l'arsenic. Mais, pour en éliminer la totalité, on est forcé de faire suivre le grillage d'une fusion réductrice, et ensuite de répéter le grillage et la fusion jusqu'à ce que le dernier grillage ne fournisse plus que des oxydes. Les oxydes de cobalt et de nickel sont réduits par le charbon.

On n'a que rarement employé la *vapeur d'eau* comme agent d'oxydation dans le grillage oxydant des combinaisons arsénicales. Par l'action de la vapeur d'eau sur les sulfo-arséniures métalliques, l'arsenic est éliminé sous forme d'acide arsénieux, le soufre sous forme d'hydrogène sulfuré, tandis que les métaux sont en majeure partie transformés en oxydes et s'il y a de l'argent, il est séparé à l'état métallique. On s'est servi autrefois de ce procédé (à Joachimsthal, en Bohême) pour l'élimination du soufre et de l'arsenic de minerais d'argent.

Les arséniures ou les arsénio-sulfures argentifères soumis à un grillage oxydant sont fréquemment fondus avec des produits plombifères, afin de faire passer l'argent dans un alliage plomb-argent. Ce dernier est coupellé en vue de l'extraction de l'argent.

## C. — Grillage oxydant des combinaisons de l'antimoine.

Le métallurgiste a ordinairement affaire à des sulfoantimoniures (cuivre gris, pyrargyrite), parce qu'on ne rencontre que rarement dans la nature des antimoniures métalliques purs (argent antimonial).

Soumis au grillage oxydant, les antimoniures métalliques forment d'abord du trioxyde d'antimoine,  $Sb^2O_3$ , dont une partie se volatilise, l'autre se transformant en tétrioxyde d'antimoine, et des antimoniates. Ces derniers se forment soit par l'action de l'oxygène de l'air sur les antimoniures métalliques, soit (en présence de sulfo-antimoniures) par l'action du trioxyde d'antimoine sur des sulfates. Dans ce dernier cas, le trioxyde d'antimoine s'oxyde aux dépens de l'oxygène de l'acide sulfurique et se transforme, avec production d'acide sulfureux, en acide antimonique, qui se combine avec les oxydes métalliques. Les antimoniates sont en partie décomposables aux hautes températures. Certains antimoniates peuvent aussi être transformés en sulfates par l'acide sulfurique à l'état de vapeurs.

Si les combinaisons antimoniales renferment de l'argent, ce métal, d'après les recherches de PLATTNER, est converti en antimoniate d'argent. Ce dernier n'est qu'incomplètement décomposable à la température du grillage, avec séparation d'une partie de l'argent à l'état métallique, dont une partie se volatilise; à de plus hautes températures, il est complètement décomposé en trioxyde d'antimoine et argent. L'acide sulfurique à l'état de vapeurs transforme l'antimoniate d'argent en sulfate d'argent.

La manière dont se comportent au grillage oxydant les différentes combinaisons antimoniales importantes pour le métallurgiste est indiquée dans ce qui suit, d'après PLATTNER :

Le *pyrargyrite* ou *argent rouge foncé*,  $3Ag^3S, Sb^2S^3$ , dégage de l'acide sulfureux et du trioxyde d'antimoine devient libre. En même temps, elle s'agglomère et consiste, au bout de quelque temps, en un mélange d'argent métallique, d'antimoniate d'argent et de sulfate d'argent.

À une haute température, le sulfate d'argent se décompose, et à une température encore plus élevée l'antimoniate d'argent est également décomposé (en trioxyde d'antimoine et argent), de sorte qu'on obtient facilement de l'argent métallique.

Les *cuivres gris antimoniaux* dégagent de l'acide sulfureux et du trioxyde d'antimoine et fournissent finalement un mélange d'oxydes, d'argent métallique, de sulfates et d'antimoniates.

Dans le grillage avec emploi de *vapeur d'eau*, celle-ci agit sur les antimoniates métalliques comme sur les arséniures; mais ce mode de grillage n'est pas appliqué en grand.

Des combinaisons antimoniales argentifères soumises à un grillage oxydant, on fait passer l'argent, par fusion avec des produits plombifères, dans un alliage plomb-argent et on l'extrait de ce dernier par coupellation.

Le grillage oxydant de l'*antimoine sulfuré* peut être conduit de façon que l'on obtienne comme produit presque exclusivement de l'antimoniate d'oxyde d'antimoine, ou bien de façon qu'il se forme du trioxyde d'anti-

moins volatil, qui est recueilli dans des dispositifs de condensation particuliers.

Les réactions chimiques qui se passent dans le premier mode de grillage, qui est le seul usité, sont les suivantes : A une température qui ne doit pas dépasser beaucoup 350°, de l'acide sulfurique et du trioxyde d'antimoine prennent naissance. Ce dernier se transforme en partie en acide antimonique qui, avec l'oxyde d'antimoine présent, forme de l'antimoniate d'oxyde d'antimoine. Dans le cas de la présence d'autres oxydes métalliques ayant de la tendance à former des antimoniates, une partie du trioxyde d'antimoine est convertie au contact de l'air en acide antimonique, qui donne naissance avec ces oxydes métalliques à des antimoniates. Il ne se forme pas de sulfate d'antimoine. Si l'antimoine sulfuré est mélangé avec de grandes quantités de sulfures métalliques étrangers, qui lors du grillage oxydant, donnent des sulfates, la formation des antimoniates des autres métaux a lieu avant celles des sulfates. Si lors du grillage, l'accès de l'air est restreint, il ne se forme pas d'antimoniate d'oxyde d'antimoine, mais du trioxyde d'antimoine.

Dans le *grillage volatilissant* qui n'a pour but que la formation de trioxyde d'antimoine et sa volatilisation, l'accès de l'air doit être limité et la température doit être tenue élevée.

## 2. — Grillage chlorurant des sulfures, arsénifères et antimonifères métalliques.

Le grillage chlorurant des sulfures, arsénifères et antimonifères métalliques a pour but de transformer leurs métaux en chlorures et de les extraire ensuite de ceux-ci. Il est employé pour les combinaisons sulfurées du cuivre et de l'argent, ainsi que pour les combinaisons complexes de ce dernier avec le soufre, l'arsenic et l'antimoine. Les chlorures du cuivre formés par le grillage (chlorure cuivreux et chlorure cuivrique) sont séparés du produit du grillage par lixiviation (avec de l'eau pour le chlorure cuivrique, avec de l'acide chlorhydrique pour le chlorure cuivreux) et de ces lessives le cuivre est précipité au moyen du fer. Le chlorure d'argent formé par le grillage est dissous à l'aide de solutions d'hyposulfite ou de chlorure de sodium, ou bien la masse grillée, après séparation préalable de l'argent du chlorure d'argent par le fer, le cuivre ou le mercure, est soumise à l'amalgamation.

### A. — Grillage chlorurant des sulfures métalliques.

Il consiste en un grillage des sulfures métalliques avec du chlorure de sodium (ou des sels de déblai).

Le chlorure de sodium est mélangé aux sulfures pulvérisés, ou bien il est pulvérisé avec eux.

Le grillage chlorurant est, comme on l'a déjà dit, toujours combiné avec un grillage oxydant. Par ce dernier, les sulfures sont transformés en oxydes et sulfates. Une partie des sulfates réagit avec le chlorure de sodium en donnant naissance à des chlorures métalliques et à du sulfate

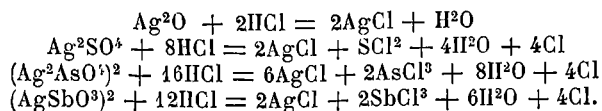


de sodium, une autre partie est décomposée par la chaleur en oxydes ou métaux et vapeurs d'acide sulfurique. L'anhydride sulfurique, réagissant sur le chlorure de sodium, donne lieu à un dégagement de chlore, en même temps qu'il se forme du sulfate de sodium. Si l'anhydride sulfurique entre en contact avec de la vapeur d'eau, il se produit de l'hydrate d'acide sulfurique qui, avec le chlorure de sodium, dégage de l'acide chlorhydrique, avec formation de sulfate de sodium.

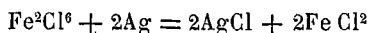
Le chlore libre transforme les sulfures, arséniures et antimoniures métalliques en chlorures, avec formation de chlorure de soufre, de chlorure d'arsenic ou de chlorure d'antimoine.

L'acide chlorhydrique agit sur les oxydes métalliques, les sulfates, les arsénates et les antimoniates en les chlorurant, réaction dans laquelle il se forme, indépendamment des chlorures métalliques, de l'eau et du chlorure de soufre, ou du chlorure d'arsenic, du chlorure d'antimoine et du chlore.

L'action de l'acide chlorhydrique sur les combinaisons de l'argent se passe comme il est indiqué par les équations suivantes :



Des *chlorures volatils* prennent naissance par réaction de sulfates avec le chlorure de sodium ou par l'action du chlore ou de l'acide chlorhydrique sur les corps en question. Parmi ces chlorures, le perchlorure de fer et chlorure cuivrique cèdent une partie de leur chlore à l'argent métallique, aux sulfures, aux arséniures et aux antimoniures métalliques, ainsi qu'aux sulfates, aux arsénates et aux antimoniates, en se transformant eux-mêmes en protochlorures. Ainsi, par exemple, l'argent est transformé en chlorure d'argent par le perchlorure de fer, d'après l'équation suivante :



Par le grillage chlorurant, le sulfure de cuivre est converti en chlorure cuivrique et chlorure cuivreux, le sulfure d'argent en chlorure d'argent.

Dans un grand nombre d'usines, le grillage chlorurant des minerais d'argent n'est pas prolongé jusqu'à ce que tout l'argent soit transformé en chlorure, mais on retire le minerai du four bien avant la chloruration complète de l'argent et, réuni en grandes masses, on l'abandonne à un refroidissement lent (pendant 12-30 heures), pendant lequel se produit la chloruration de l'argent non encore chloruré (jusqu'à 40 p. 100 de la teneur en argent).

Le chlorure cuivrique est dissous dans l'eau, et de la solution, le cuivre est précipité à l'état métallique au moyen de fer.

Le chlorure cuivreux est insoluble dans l'eau. On le fait entrer en dissolution au moyen d'acide chlorhydrique, ainsi que de chlorures alcalins ou de chlorures des métaux lourds, et par le fer on précipite le cuivre à l'état métallique, ou par un lait de chaux à l'état d'oxydure; ce dernier peut être ensuite transformé en métal par le charbon ou le sulfure de cuivre.

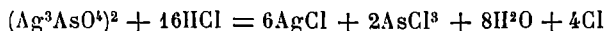
Le chlorure d'argent est dissous au moyen de solutions de chlorure de sodium ou d'hyposulfites. Des deux sortes de solutions, l'argent est précipité à l'état métallique à l'aide de métaux, ou des solutions dans les hyposulfites à l'état de sulfure au moyen du sulfure de sodium ou de calcium.

Si l'on veut extraire l'argent du chlorure d'argent à l'aide de l'amalgamation, on traite ce dernier directement par le mercure, l'argent est alors séparé avec formation de chlorure mercurieux et converti en amalgame par une nouvelle quantité de mercure ; le chlorure d'argent peut aussi être d'abord décomposé par le fer, le cuivre ou le zinc, après quoi l'argent séparé est transformé en amalgame au moyen de mercure.

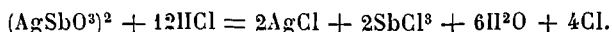
#### B. — Grillage chlorurant des arséniures et antimoniures métalliques.

Le grillage chlorurant des arséniures et antimoniures métalliques se passe d'une façon analogue à celui des sulfures.

Dans le grillage chlorurant des combinaisons argentifères de cette sorte, il se forme des arsénates et des antimonates de l'argent, qui, surtout dans le cas de la présence simultanée de sulfures métalliques, sont transformés en chlorures par le chlorure de sodium. L'argent métallique qui a pu se séparer est aussi converti en chlorure par le sel marin. Le chlore, qui est mis en liberté par l'action de l'anhydride sulfurique (produit aux dépens des sulfures métalliques), transforme les arséniures ou les antimoniures en chlorures métalliques, avec formation de chlorure d'arsenic ou d'antimoine. L'acide chlorhydrique, résultant de l'action de l'hydrate sulfurique sur le chlorure de sodium, convertit également les arséniures ou les antimoniures en chlorures, avec production d'hydrogène arsénié ou antimonié ; en outre, il transforme les arsénates et les antimonates de l'argent en chlorure d'argent, avec formation de chlorure d'arsenic, chlorure d'antimoine et chlore, d'après les équations suivantes :



ou



Les chlorures volatils (perchlorure de fer et chlorure cuivrique) cèdent une partie de leur chlore à l'argent métallique, à l'arséniure et à l'antimoniure d'argent, aux arsénates et antimonates d'argent, en se transformant eux-mêmes en protochlorures. Dans ce cas également, il se produit une chloruration complémentaire (comme lors du grillage chlorurant des sulfures métalliques).

#### 3. — Réduction des oxydes métalliques.

Les métaux peuvent être réduits de leurs oxydes par voie sèche, par voie humide et par voie électrométallurgique.

On nomme *réduction*, aussi bien la transformation des oxydes métalliques en métaux, que l'abaissement de leur degré d'oxydation. On donne au premier mode de réduction le nom de réduction complète, au second celui de réduction incomplète.

### A. — Séparation des métaux des oxydes par voie sèche.

Ce mode de séparation est un procédé direct.

Il peut, suivant la nature de l'oxyde, être réalisé soit par simple chauffage de ce dernier, soit par chauffage avec des corps réducteurs, ou, comme pour l'alumine, au moyen du courant électrique à haute température.

#### a. — Réduction des oxydes par chauffage simple.

Par chauffage simple, on ne sépare de leurs oxydes què les métaux précieux et le mercure, les combinaisons oxygénées de ces derniers se dédoublant à une température déterminée en métal et oxygène. Parmi les oxydes des métaux non précieux, les peroxydes seuls se décomposent à chaud en oxygène et un degré inférieur d'oxydation. Les autres oxydes métalliques restent indécomposés. Certains oxydes fondent lorsqu'on les chauffe (oxyde de plomb, oxyde de bismuth, oxyde de cuivre); d'autres se volatilisent (acide arsénieux, trioxyde d'antimoine); d'autres, enfin, n'éprouvent généralement aucune modification dans leur état d'agrégation (sesquioxyde de fer, oxyde cuivrique, oxyde stannique, oxyde de zinc). La réduction des oxydes métalliques par chauffage simple ne trouve en grand aucune application.

#### b. — Réduction des oxydes par chauffage avec des corps réducteurs.

Parmi les corps réduisant à chaud les oxydes métalliques en métaux, les plus importants sont l'hydrogène, les différents hydrocarbures, le carbone, l'oxyde de carbone, certains métaux, le phosphore, les phosphures et les sulfures métalliques. L'action réductrice de ces corps est due à ce que leur affinité pour l'oxygène des oxydes métalliques s'est accrue de façon qu'elle surpasse l'affinité pour l'oxygène des métaux contenus dans les oxydes. La réduction des oxydes métalliques n'est possible qu'aux températures auxquelles les nouvelles combinaisons oxygénées produites ne se décomposent pas encore complètement. Les températures auxquelles a lieu une pareille décomposition (dissociation) de ces dernières, n'ont pas encore jusqu'ici été déterminées avec certitude. (D'après DEVILLE, la décomposition de la vapeur d'eau en ses éléments serait complète à 2500°, tandis que d'après les récentes expériences de MALLARD et LE CHATELIER, à 2480° on ne remarque pas encore de dissociation notable de cette vapeur. D'après les expériences des mêmes savants, l'acide carbonique serait encore fixe à 2000°, tandis qu'à 3200° il se dissocierait 30 p. 100 de ce gaz. A 1700°, d'après les expériences de LANGER et V. MEYER, l'oxyde de carbone ne se dédoublerait que dans une faible mesure en carbone et acide carbonique. Les températures indiquées ne sont pas exactes, parce que, comme il sera expliqué ultérieurement, jusqu'à présent les hautes températures ne peuvent être déterminées exactement ni par calcul, ni par mesure.)

Pour beaucoup de métaux, la température de réduction est au-dessous

du point de fusion du métal à séparer, tandis que pour d'autres elle est au-dessus de ce point, et pour d'autres, enfin, au-dessus de leur point d'ébullition. Ainsi le fer, le nickel, le cobalt, le cuivre sont réduits de leurs oxydes au-dessous de leur point de fusion, le plomb et l'étain au-dessus de ce point, et le zinc et le cadmium au-dessus de leur point d'ébullition.

C'est pour cela que la réduction doit être produite tantôt à l'aide du procédé par calcination, tantôt à l'aide du procédé par fusion, tantôt à l'aide du procédé par vaporisation. Dans un grand nombre de cas, on combine la calcination avec la fusion, afin de pouvoir séparer commodément le métal isolé des corps étrangers qui l'accompagnent.

La quantité de chaleur nécessaire pour la réduction des oxydes métalliques dépend de la nature chimique du processus qui se passe lors de la réduction. Ce dernier consiste, indépendamment de la réduction de l'oxyde métallique, en une oxydation du corps produisant la réduction par l'oxygène de l'oxyde métallique. Lors de la réduction, il est consommé de la chaleur, tandis que lors de l'oxydation il en est dégagé, et pour la réduction d'un oxyde métallique il faut une quantité de chaleur égale à celle qui est dégagée lors de sa formation par oxydation du métal correspondant. Si maintenant la quantité de chaleur dégagée lors de l'oxydation du corps réducteur par l'oxygène de l'oxyde métallique est plus grande que la chaleur consommée lors de la décomposition (de la réduction) de l'oxyde métallique considéré, de la chaleur est rendue libre et il se produit une élévation de température; dans le cas inverse, de la chaleur est consommée et il faut, si le processus doit continuer, la remplacer par un apport de l'extérieur. La quantité de la chaleur à apporter dans ce cas doit être au moins égale à la différence entre la chaleur consommée et la chaleur dégagée.

#### *Différents agents de réduction.*

L'*hydrogène* n'est pas l'objet d'une préparation spéciale en vue de la réduction, mais il se produit fortuitement dans un grand nombre de procédés de séparation par le contact de vapeur d'eau avec des charbons incandescents et des métaux, et dans ces cas il peut faire sentir son action comme agent de réduction. L'*hydrogène* agit alors parce qu'il se combine avec l'oxygène de l'oxyde métallique, en donnant naissance à de la vapeur d'eau. Les oxydes de plomb, de bismuth, de fer, de nickel et de cuivre sont au rouge faible réduits en métaux par l'*hydrogène*, tandis que le sesquioxyde de manganèse n'est que ramené par ce gaz à un degré d'oxydation inférieur. La température à laquelle la vapeur d'eau se dédouble en ces éléments n'a pas encore, comme on l'a dit, été déterminée avec certitude.

Les différents *hydrocarbures* ne sont que rarement préparés avec intention (comme, par exemple, lors du perchage du cuivre par distillation sèche du bois employé pour cette opération), mais ils prennent naissance lors du chauffage des combustibles non carbonisés (distillation sèche), qui sont employés dans différents procédés de séparation.

Les *hydrocarbures* sont des agents réducteurs, parce que leur *hydrogène* se combine avec une partie de l'oxygène des oxydes métalliques, en

donnant de l'eau, tandis que leur carbone s'unit avec une autre partie de l'oxygène pour former de l'acide carbonique. Sous l'influence de la chaleur, les hydrocarbures lourds laissent séparer du carbone, qui réduit aussi en métaux les oxydes métalliques difficilement réductibles. Les hydrocarbures qui ne séparent pas de carbone à chaud ne réduisent en métaux que les oxydes facilement réductibles (du cuivre, du bismuth, par exemple), tandis qu'ils n'amènent qu'à un degré d'oxydation inférieur les oxydes supérieurs du fer et du manganèse, et qu'ils ne réduisent pas du tout les oxydes de l'étain et du zinc. Les températures du dédoublement des produits gazeux de la réduction n'ont pas encore été jusqu'à présent déterminées avec certitude.

Le *carbone* est, avec l'oxyde de carbone, l'agent de réduction le plus fréquemment employé par le métallurgiste. On l'emploie ordinairement sous forme de houille ou de bois carbonisés (coke et charbon de bois), plus rarement sous la forme de combustibles bruts.

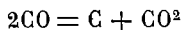
L'affinité du carbone pour l'oxygène commence à 400° environ. Il agit comme réducteur, en se combinant à l'oxygène de l'oxyde métallique, avec lequel il forme de l'oxyde de carbone, tandis que le métal est séparé, d'après l'équation :



Les oxydes métalliques même difficilement réductibles sont réduits par le carbone, par exemple, l'alumine à une très haute température, le protoxyde de manganèse, même les métaux alcalins de leurs carbonates et le fer et le zinc de leurs silicates. D'après W. BORCIERS<sup>1</sup>, tout oxyde métallique peut être réduit par le carbone. La chaleur nécessaire pour la réduction doit, avec les oxydes difficilement réductibles, être produite par le courant électrique.

L'oxyde de carbone formé lors de la réduction par le carbone agit également de son côté comme réducteur sur les oxydes métalliques, en se transformant en acide carbonique par absorption d'un nouvel atome d'oxygène.

Jusqu'à la température de 1700°, l'oxyde de carbone ne se dédouble que dans une faible mesure, mais en présence du fer, il se décompose aux températures comprises entre 300 et 400° en acide carbonique et carbone, d'après l'équation :



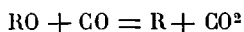
Comme le carbone est employé à l'état solide, il est nécessaire de mélanger avec lui les oxydes qu'il doit réduire, et il ne doit pas être employé en fragments trop gros, parce que son action réductrice ne s'étend pas profondément à l'intérieur de ces derniers. Le carbone sépare les métaux aussi bien des oxydes fondus que des oxydes solides.

Les oxydes de tous les métaux préparés dans les usines métallurgiques sont réduits par le carbone.

L'*oxyde de carbone* est pour le métallurgiste un agent de réduction

<sup>1</sup> *Traité d'électrometallurgie*, édition française par le Dr L. GAUTIER, p. 16. CH. BÉ-RANGER, Paris.

aussi important que le carbone. Sa tendance à s'unir à l'oxygène des oxydes métalliques commence entre 200 et 300°. Il agit comme réducteur en prenant aux oxydes métalliques un deuxième atome d'oxygène et se transformant, avec séparation du métal, en acide carbonique, d'après l'équation :



L'énergie réductrice de l'oxyde de carbone est accrue pour beaucoup de températures par la présence simultanée d'acide carbonique. Pour certains métaux (fer, zinc), un mélange d'acide carbonique et d'oxyde carbonique agit même comme oxydant à certaines températures. C'est pour cela qu'un mélange d'acide carbonique et d'oxyde de carbone peut, suivant les proportions relatives des deux gaz, l'affinité des métaux pour l'oxygène et le degré de la température, agir tantôt comme oxydant, tantôt comme réducteur, tantôt n'avoir aucune action. Ce dernier cas se présente, par exemple, d'après les expériences de BELL<sup>1</sup>, lorsque du fer est mis en contact :

Au rouge blanc avec un mélange de 90 volumes d'oxyde de carbone et de 10 volumes d'acide carbonique ;

Au rouge clair avec un mélange de 68 volumes d'oxyde de carbone et de 32 volumes d'acide carbonique ;

Au rouge foncé avec un mélange de 40 volumes d'oxyde de carbone et 60 volumes d'acide carbonique.

Comme on l'a déjà dit, la température à laquelle se dédouble l'acide carbonique n'a pu encore jusqu'ici être exactement déterminée.

Les oxydes de plomb, de cuivre, d'étain, de nickel, de cobalt, de zinc, de cadmium et de fer sont réduits en métaux par l'oxyde de carbone.

Les oxydes supérieurs du manganèse sont ramenés par l'oxyde de carbone à un degré d'oxydation inférieur. (Le fer et le plomb ne sont pas séparés de leurs silicates par l'oxyde de carbone.)

Les oxydes qui forment des masses denses, fondues ou frittées ne sont qu'incomplètement réduits par l'oxyde de carbone, parce qu'ils ne peuvent pas être pénétrés par ce dernier.

L'oxyde de carbone réduit au contraire les oxydes métalliques en morceaux non fondus ou non frittés, parce que le gaz peut pénétrer dans l'intérieur de leur masse.

L'oxyde de carbone se forme par combustion incomplète du charbon, par réduction de l'acide carbonique au contact de charbons incandescents, lors de la réduction d'oxydes métalliques par le charbon et par le dédoublement de l'acide carbonique à de hautes températures.

Pour la réduction par le carbone, il faut plus de chaleur que pour la réduction par l'oxyde de carbone, parce que la gazéification du carbone solide exige une certaine quantité de chaleur.

Parmi les *métaux* agissant comme réducteurs sur les oxydes métalliques, nous mentionnerons l'aluminium, le cuivre, le fer et le manganèse. Les métaux réducteurs sont alors transformés en oxydes. L'action réduc-

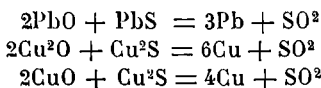
<sup>1</sup> *Ueber die Entwicklung und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen von verschiedenen Dimensionen*, édition allemande par P. TURNER.

trice du cuivre sur l'oxyde de plomb se fait sentir lors de la séparation du plomb d'avec l'argent par coupellation, le cuivre, qui altère la pureté du plomb, étant oxydé par l'oxyde de plomb formé pendant la coupellation. L'action réductrice du manganèse a été utilisée pour la réduction de l'oxydure de cuivre dans le raffinage du cuivre, afin d'obtenir un métal sans soufflures. On emploie aussi le manganèse pour la désoxydation du fer doux fondu. L'aluminium est employé au même usage, ainsi que, d'après H. GOLDSMIDT, pour la réduction des oxydes des métaux difficilement fusibles (chrome, manganèse).

Le *phosphore* et le *cuivre phosphoreux* réduisent l'oxyde de cuivre à l'état de métal. On s'est servi de ces deux corps pour la réduction de l'oxyde de cuivre dans le raffinage du cuivre, également pour obtenir un métal sans soufflures. Le phosphore est alors transformé en acide phosphorique.

Certains *sulfures métalliques* réagissent à chaud sur certains oxydes métalliques ; le métal est alors rendu libre, en même temps qu'il se forme de l'acide sulfureux ; ainsi, par exemple, le sulfure de plomb réagit de cette façon avec l'oxyde de plomb, le sulfure de cuivre avec l'oxyde cuivreux et l'oxyde cuivrique, le sulfure d'argent avec l'oxyde de plomb. (D'autres sulfures et oxydes d'un même métal, comme le sulfure et l'oxyde d'antimoine, se combinent entre eux à chaud sans décomposition en donnant naissance à des oxydesulfures).

De la réaction indiquée en premier lieu, le métallurgiste fait usage, pour la réduction de l'oxyde de plomb, de l'oxydure et du bioxyde de cuivre au moyen du sulfure de plomb ou du sous-sulfure de cuivre, d'après les équations :



Il utilise en outre la réductibilité de l'oxyde de plomb par le sulfure d'argent pour l'extraction de l'argent de corps contenant du sulfure d'argent. Lorsqu'on chauffe de l'oxyde de plomb et du sulfure d'argent, l'argent est séparé à l'état métallique et absorbé par le plomb, tandis que, en même temps, il se forme de l'acide sulfureux.

L'oxyde de plomb est aussi décomposé par d'autres sulfures métalliques, mais alors il se forme également, indépendamment des métaux, des oxydes métalliques.

D'après les expériences de BERTMER<sup>1</sup>, lorsqu'on fond ensemble 20 parties d'oxyde de plomb avec 1 partie de sulfure de fer, il se produit, outre le plomb et l'acide sulfureux, un mélange d'oxyde salin de fer et d'oxyde de plomb. En outre, 25 parties d'oxyde de plomb avec 1 partie de sous-sulfure de cuivre se décomposent en plomb métallique, oxyde de plomb, protoxyde de cuivre et acide sulfureux ; 25 parties d'oxyde de plomb donnent avec 1 partie de sulfure de zinc de l'oxyde de zinc, de l'oxyde de plomb et de l'acide sulfureux. La plupart de ces réactions se produisent dans la séparation du plomb d'avec l'argent par coupellation.

<sup>1</sup> *Kartens Archiv*, t. XIX, p. 254.

### B. — Réduction des oxydes par le courant électrique.

On emploie le courant électrique pour séparer l'aluminium de l'alumine. Cette dernière est d'abord dissoute par l'action thermique du courant dans des sels haloïdes fondus des métaux alcalins, des métaux alcalino-terreux et de l'aluminium lui-même, et ensuite décomposée par le courant ; l'aluminium se sépare alors à la cathode consistant en charbon ou en un métal refroidi, tandis que l'oxygène se transporte à l'anode formé de charbon et donne naissance avec le carbone de celle-ci à de l'oxyde de carbone.

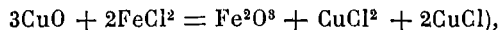
BORCHERS<sup>1</sup> a démontré que l'alumine est réduite par le charbon en aluminium à la haute température produite par le courant électrique. On peut donc se demander si lors de l'électrolyse une partie de l'alumine n'est pas aussi réduite dans les vases à décomposition garnis de charbon, par le carbone chauffé électriquement à une haute température. Une pareille réduction de l'alumine par le carbone a lieu dans le procédé de COWLES, qui consiste à exposer à l'action du courant électrique, entre deux électrodes en charbon, un mélange d'alumine et de charbon de bois, avec l'oxyde du métal ou le métal lui-même, auquel l'aluminium doit être combiné. L'aluminium est ainsi séparé et se combine avec le métal (ordinairement le cuivre, pour l'obtention de bronze d'aluminium) réduit de l'oxyde ou ajouté à l'état de régule.

### C. — Séparation des métaux des oxydes métalliques par les voies sèche et humide réunies.

Les métaux ne peuvent, par cette voie, être séparés qu'indirectement de leurs oxydes. Cette méthode trouve emploi pour la séparation du cuivre, du nickel, du bismuth, du cobalt et du zinc des oxydes correspondants.

Les oxydes sont dissous au moyen d'acides, de combinaisons du chlore ou de sels ammoniacaux, et les métaux sont précipités des dissolutions à l'état métallique, sous forme de sulfures, d'hydroxydes ou de carbonates. Les sulfures, les hydroxydes et les carbonates sont ensuite traités par voie sèche.

Ainsi, le bioxyde de cuivre est séparé de corps insolubles dans les dissolvants par dissolution au moyen d'acide chlorhydrique, d'acide sulfurique ou de protochlorure de fer (la solution de protochlorure de fer dissout le bioxyde de cuivre, avec séparation de sesquioxyde de fer, en le transformant partie en bichlorure, partie en protochlorure, d'après l'équation :



plus rarement à l'aide de sels ammoniacaux (carbonate d'ammonium) et il est précipité à l'état métallique par le fer, à l'état de sulfure par l'hydrogène sulfuré, ou sous forme d'hydroxyde ou d'oxyde par élimination des sels ammoniacaux par distillation.

<sup>1</sup> *Traité d'électrometallurgie*, édition française par L. GAUTIER, p. 412.



L'oxyde de nickel est dissous par l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique et précipité des dissolutions sous forme d'hydroxyde.

L'oxyde de bismuth est séparé de l'oxyde de plomb par l'acide chlorhydrique. De la solution de bismuth, du chlorure de bismuth basique est précipité par dilution avec de l'eau, et de cette combinaison le bismuth est séparé par voie sèche (par calcination avec du charbon et de la chaux) ou par voie humide (au moyen du fer).

L'oxyde de zinc est séparé de l'oxyde de plomb et du plomb par dissolution dans le carbonate d'ammonium. De la solution de zinc, on précipite du carbonate de zinc basique en éliminant par distillation l'ammoniaque et une partie de l'acide carbonique ; le sel basique de zinc peut ensuite être dépouillé par calcination de son acide carbonique, puis réduit en zinc métallique à l'aide de charbon.

Des hydroxydes, on sépare les métaux de la même manière que des oxydes. Lors de la séparation des métaux par voie sèche, il faut avant la réduction des oxydes en éliminer l'eau par volatilisation.

#### 4. — Séparation des métaux des sulfures métalliques.

Les métaux peuvent être séparés des sulfures métalliques aussi bien par voie sèche, que par voie sèche et voie humide réunies, ou que par voie électrométallurgique.

##### A. — Séparation des métaux des sulfures métalliques par voie sèche.

Les métaux peuvent par cette voie être séparés *directement* : par chauffage des sulfures à l'abri de l'air ; par chauffage au contact de l'air ; par chauffage avec d'autres métaux, avec des oxydes et avec des sels métalliques, ainsi qu'au moyen du courant électrique ; *indirectement* : par transformation des sulfures en oxydes et réduction de ces derniers en métaux, par transformation des sulfures en sels métalliques et séparation des métaux de ces derniers.

##### *Séparation directe des métaux des sulfures métalliques.*

###### a. — *Par chauffage des sulfures à l'abri de l'air.*

Le sulfure d'or et le sulfure de platine peuvent être de cette façon décomposés en métaux et soufre. Cette décomposition n'est pas mise à profit dans les usines métallurgiques.

Parmi les autres sulfures métalliques, le sulfure de fer  $\text{FeS}^2$  et le sulfure de cuivre  $\text{CuS}$  sont aussi décomposés par chauffage à l'abri du contact de l'air :  $\text{FeS}^2$  en  $\text{FeS}$  et  $\text{S}$ ,  $\text{CuS}$  en  $\text{Cu}^2\text{S}$  et  $\text{S}$ .

Pour ce qui concerne l'action de la chaleur sur l'état d'agrégation des sulfures métalliques, nous ferons remarquer que le sulfure de zinc et le sulfure d'argent sont infusibles par eux-mêmes, mais qu'en combinaison avec d'autres sulfures métalliques (mattes), ils fondent facilement. Les autres sulfures sont fusibles ou vaporisables. Les sulfures de mercure, de plomb, d'arsenic et d'antimoine peuvent être réduits en vapeurs.

b. — *Par chauffage des sulfures au contact de l'air.*

Du sulfure d'argent et du sulfure de mercure, on sépare par ce moyen les métaux correspondants, en même temps que le soufre est converti en acide sulfureux. Les métaux non précieux combinés au soufre, chauffés au contact de l'air, sont transformés en oxydes ou en sulfates.

A l'aide de ce procédé, on extrait le mercure du cinabre ou des minéraux contenant du cinabre, et aussi, mais plus rarement, l'argent du sulfure d'argent pur.

c. — *Séparation par chauffage des sulfures avec certains métaux.*

Si l'on chauffe un sulfure métallique avec un métal qui possède pour le soufre une affinité plus grande que le métal du sulfure, ce dernier métal est plus ou moins complètement séparé et l'autre métal est transformé en sulfure. Ainsi, en chauffant avec du fer le sulfure de plomb et le sulfure de mercure, on en sépare le plomb et le mercure, tandis que le fer est converti en sulfure.

FOURNET, se basant sur des expériences, a établi relativement à l'affinité des métaux pour le soufre, une classification dans laquelle le métal précédent doit séparer le suivant de sa combinaison sulfurée. Cette classification, qui, cependant, dans certaines circonstances, n'est pas absolument exacte, est la suivante : cuivre, fer, étain, zinc, plomb, argent, antimoine, arsenic. Le cuivre, d'après cela, est le métal qui offrirait pour le soufre la plus grande affinité.

La classification de FOURNET a subi dans ces derniers temps quelques modifications, la détermination de l'affinité des différents métaux pour le soufre ayant été établie d'après les nombres trouvés pour la chaleur de formation des différents sulfures.

Voici, suivant OSTWALD<sup>1</sup>, cette nouvelle classification : aluminium, magnésium, manganèse, zinc, cadmium, fer, cobalt, plomb, cuivre, nickel, mercure, argent. L'antimoine et l'arsenic seraient, d'après OSTWALD, entre le zinc et le fer. Il suit de là que le cuivre vient après le plomb. L'antimoine et l'arsenic qui, d'après FOURNET, auraient l'affinité la plus faible pour le soufre, sont avant le fer.

On met encore actuellement à profit cette affinité différente des métaux pour le soufre, pour la séparation du plomb de la galène au moyen du fer (méthode par précipitation). Mais, de cette façon, on n'obtient pas tout le plomb à l'état métallique. Une partie du sulfure de plomb forme une matte avec le sulfure de fer. Autrefois, on séparait aussi le mercure du cinabre au moyen du fer.

On a autrefois extrait l'antimoine de l'antimoine sulfuré,  $Sb^2S^3$ , par fusion de ce dernier avec des alcalis et du fer. La séparation de l'antimoine par le fer est en contradiction avec la place qu'occupe l'antimoine dans la classification d'OSTWALD. Les fondants alcalins, dont les métaux possèdent une très grande affinité pour le soufre, semblent donc, d'après cela, être les agents de désulfuration *directs*.

<sup>1</sup> *Allgemeine Chemie*, t. II, 1893.

d. — *Séparation par chauffage des sulfures métalliques avec des oxydes métalliques.*

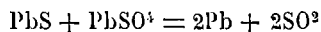
Comme on l'a déjà dit, à propos de la réduction des oxydes, certains sulfures et oxydes métalliques se décomposent de telle façon que, des sulfures aussi bien que des oxydes, les métaux sont séparés avec dégagement d'acide sulfureux. On sépare de cette façon le plomb du sulfure de plomb à l'aide de l'oxyde de plomb, le cuivre du sulfure de cuivre à l'aide du protoxyde ou du bioxyde de cuivre, l'argent du sulfure d'argent à l'aide de l'oxyde de plomb.

Les alcalis et les terres alcalines exercent aussi une action décomposante sur quelques sulfures métalliques, en formant des sulfates ou des sulfites des métaux alcalins ou alcalino-terreux correspondants et séparant du sulfure une certaine quantité de métal. On met cette réaction à profit pour la décomposition du sulfure de plomb (par la chaux).

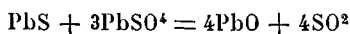
e. — *Séparation par chauffage des sulfures métalliques avec des sels métalliques.*

Parmi les sels métalliques qui séparent les métaux de leurs sulfures, nous mentionnerons : le sulfate de plomb, les silicates de fer en présence de carbone, les carbonates alcalins et alcalino-terreux.

Le sulfate de plomb se décompose à chaud avec le sulfure de plomb, d'après l'équation :



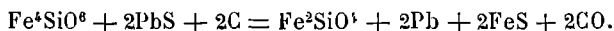
S'il y a du sulfate de plomb en excès, il ne se forme que de l'oxyde de plomb, d'après l'équation :



On met à profit ces réactions du sulfate de plomb avec le sulfure de plomb pour la séparation du plomb de la galène (fusion avec réaction) et pour la transformation du sulfate de plomb en oxyde de plomb (procédé de HUNTINGTON-HEBERLEIN).

Parmi les sulfates des autres métaux lourds, la plupart (le sulfate de bismuth excepté) se décomposent, bien avant la température à laquelle pourrait avoir lieu la décomposition des sulfures métalliques par les sulfates, en oxydes et acide sulfurique ou acide sulfureux et oxygène.

Parmi les silicates, le silicate de fer décompose le sulfure de plomb en présence du charbon ; le plomb est alors séparé et il se forme un silicate plus pauvre en fer, avec du sulfure de fer et de l'oxyde de carbone, d'après l'équation :



Cette réaction est mise à profit dans l'extraction du plomb.

(Le silicate de cuivre décompose le sulfure de fer, mais non avec séparation de métal ; il ne se forme que du silicate de fer et du sulfure de cuivre. Cette réaction est appliquée dans l'extraction du cuivre).

Les carbonates alcalins et alcalino-terreux exercent sur les sulfures métalliques une action décomposante analogue à celle des alcalis et des terres alcalines. Ces réactions sont appliquées dans une certaine mesure lors de l'extraction du plomb (calcaire).

On a proposé dans ces derniers temps de dissoudre les sulfures métalliques dans un bain de chlorures fondus, et de faire passer à travers les masses fondues du chlore ou du chlorure de soufre. Les métaux seraient ainsi séparés avec dégagement du soufre à l'état de vapeurs.

#### f. — *Séparation par le courant électrique.*

D'après un procédé imaginé par l'ALUMINIUMINDUSTRIE GESELLSCHAFT<sup>1</sup>, le *sulfure d'aluminium* est électrolysé seul ou dans un bain de chlorures ou de fluorures alcalins ou alcalino-terreux. L'électrolyte peut être fondu et maintenu à l'état liquide aussi bien à l'aide de chaleur extérieure qu'au moyen de la chaleur du courant. Les vases les plus convenables pour l'application de ce procédé sont des caisses en fer garnies de charbon. Pour empêcher l'oxydation du sulfure, des gaz réducteurs sont dirigés au-dessus des masses fondues. L'aluminium se sépare à la cathode, le soufre à l'anode.

SWINBURN dissout les sulfures métalliques (sulfures d'argent, de plomb, de zinc) dans un bain de chlorures métalliques fondus et fait passer le courant électrique à travers les masses fondues ; les métaux sont alors séparés avec dégagement de soufre à l'état de vapeurs.

#### *Séparation indirecte des métaux des sulfures métalliques.*

On transforme indirectement les sulfures métalliques en métaux en les convertissant en oxydes et réduisant ces derniers. La conversion des sulfures métalliques en oxydes est réalisée au moyen du grillage oxydant dont il a été déjà question. La réduction des oxydes métalliques en métaux est effectuée comme il a été dit précédemment à l'aide du charbon ou de l'oxyde de carbone, dans quelques cas aussi, au moyen de sulfures métalliques. Si la réduction des oxydes doit avoir lieu par le charbon ou l'oxyde de carbone, on transforme les métaux complètement en oxydes par le grillage oxydant, tandis que si elle doit être effectuée au moyen de sulfures métalliques, on ne transforme qu'une partie du sulfure en oxyde ou en sulfate et, à une plus haute température, on réduit ces deux corps à l'aide de la portion du sulfate restée indécomposée. La réduction par des oxydes ou des sulfates est employée pour le sulfure de cuivre et le sulfure de plomb. Lors du grillage du sulfure de plomb, il se forme en même temps que l'oxyde de plomb du sulfate de plomb indécomposable à la température du grillage, et ce sulfate, la température étant élevée, se transforme avec le sulfure de plomb en plomb et acide sulfureux (méthode par grillage et réaction).

Si le sulfure de plomb est impur, on le transforme par grillage oxydant à basse température en un mélange d'oxyde et de sulfate de plomb. De ce

<sup>1</sup> Brevet allemand, n° 68 909.

dernier, en élevant la température et ajoutant du quartz (s'il n'y en a pas déjà dans le minerai), on élimine l'acide sulfurique et on obtient ainsi un silicate de plomb, duquel on sépare le plomb par le protoxyde de fer et le charbon ou le fer et charbon, avec formation d'un silicate de fer (méthode par grillage et réduction).

Avec le sulfure de cuivre, le grillage partiellement oxydant peut être remplacé par la fusion oxydante, dont il a déjà été question (extraction du cuivre au convertisseur Bessemer et rôtissage).

#### B. — Séparation des métaux des sulfures métalliques par voie sèche et voie humide réunies.

Par ce moyen, on ne sépare qu'indirectement les métaux de leurs combinaisons sulfurées. On transforme ces derniers en amalgames, en sulfates ou en chlorures, et l'on traite ensuite ces combinaisons pour métaux.

On forme des *amalgames* avec le *sulfure d'argent*, en traitant ce dernier par le mercure ou par le mercure et le fer. Il se produit alors un amalgame d'argent, en même temps qu'il se forme du sulfure de mercure ou du sulfure de fer. L'argent est séparé de l'amalgame par distillation du mercure.

On prépare des *sulfates* avec les sulfures métalliques, en laissant ces derniers se décomposer à l'air, en les soumettant au grillage oxydant dont il a été déjà question (grillage sulfatisant), en les calcinant avec des sulfates décomposables par la chaleur, en leur faisant subir un grillage oxydant et dissolvant les oxydes ainsi formés dans l'acide sulfurique, enfin en les traitant par certaines solutions salines. Des sulfates, le métal à extraire est précipité à l'état de métal, d'oxyde, d'hydroxyde ou, sous forme concentrée, à l'état de combinaison sulfurée (sulfure de cuivre). Des oxydes, hydroxydes et combinaisons sulfurées, les métaux sont séparés d'après les procédés déjà indiqués.

Relativement à la *formation des sulfates par décomposition à l'air*, il est à remarquer que certains sulfures métalliques peuvent, par un long contact avec l'air humide, se convertir en sulfates. C'est ainsi que dans ces conditions le sulfure de fer se transforme en sulfate ferreux et sulfate ferrique, la blende en sulfate de zinc, un mélange de pyrite de fer et de cuivre pyriteux en un mélange de sulfate ferreux, de sulfate ferrique et de sulfate de cuivre. Ce mode de formation des sulfates est mis à profit pour l'extraction du cuivre des pyrites contenant du cuivre pyriteux, celles-ci étant abandonnées à elles-mêmes au contact de l'air, le mélange de sulfate de cuivre et de sulfate de fer étant ensuite dissous par lixiviation, et le cuivre précipité de la dissolution au moyen du fer.

Il a déjà été question, à propos du grillage oxydant des sulfures métalliques de la *formation des sulfates, par grillage oxydant*, ainsi que *par chauffage des sulfures métalliques avec des sulfates décomposables à chaud*.

La *formation des sulfates, par grillage oxydant des sulfures métalliques et dissolution des oxydes formés dans l'acide sulfurique*, trouve emploi pour l'extraction du cuivre et de l'argent des combinaisons de sulfure de

cuivre et de sulfure d'argent (matte cuivreuse argentifère). On grille ces combinaisons assez longtemps et à une température suffisante pour transformer le sulfure de cuivre en bioxyde et le sulfure d'argent en métal. Du produit du grillage, on élimine le bioxyde de cuivre par lixiviation avec de l'acide sulfurique étendu, tandis que l'argent reste dans le résidu à l'état métallique. Dans la solution de sulfate de cuivre, on précipite le cuivre sous forme métallique, au moyen du fer, ou bien on le traite pour sulfate de cuivre (procédé de Freiberg).

La *formation de sulfates par traitement des sulfures métalliques avec certaines solutions salines* est basée sur la propriété que possède le sulfate ferrique de dissoudre le cuivre du sulfure de cuivre sous forme de sulfate, avec formation de sulfate ferreux. Ce procédé a été proposé pour transformer en sulfate le cuivre des pyrites contenant du cuivre pyriteux et précipiter ensuite le cuivre de la dissolution de sulfate de cuivre au moyen du fer ou par le courant électrique.

La *séparation des métaux des sulfures métalliques par transformation de ceux-ci en chlorures* peut être effectuée par traitement à chaud des sulfures au moyen du chlore libre ou du chlorure de soufre, par réaction à chaud avec certains sels haloïdes, par traitement au moyen d'acide chlorhydrique en solution aqueuse ou à l'état de vapeurs, par le *grillage chlorurant* dont il a déjà été question, par traitement avec des solutions de certains chlorures métalliques (bichlorure de cuivre, perchlorure de fer).

Le procédé le plus fréquemment employé pour la transformation des sulfures métalliques en chlorures est le grillage chlorurant décrit précédemment (p. 48). Le sulfure de cuivre est aussi converti en chlorure au moyen de solutions de bichlorure de cuivre et de perchlorure de fer. Le sulfure d'argent est transformé en chlorure par traitement avec des solutions de bichlorure et de protochlorure de cuivre. Les sulfures métalliques qui sont le plus fréquemment transformés en chlorures sont le sulfure de cuivre et le sulfure d'argent.

Des combinaisons chlorées du cuivre, le bichlorure est dissous par l'eau; le protochlorure par l'acide chlorhydrique, les chlorures alcalins et alcalino-terreux ou les chlorures des métaux lourds. De ces dissolutions, le cuivre est séparé par le fer.

Le chlorure d'argent est dissous par une solution de chlorure de sodium, d'hyposulfite de sodium ou d'hyposulfite de potassium, ou bien il est soumis à l'amalgamation. De la dissolution de chlorure d'argent dans le chlorure de sodium, l'argent est séparé à l'état métallique par le cuivre ou le fer (procédé d'Augustin), et il est précipité sous forme de sulfure de la solution dans l'hyposulfite de sodium au moyen du sulfure de sodium, de la solution dans l'hyposulfite de potassium à l'aide du sulfure de potassium. Le sulfure d'argent ainsi obtenu est ordinairement imbibé dans un bain de plomb, par lequel l'argent est absorbé avec formation de sulfure de plomb. L'argent est ensuite séparé du plomb par coupellation. Si l'argent doit être séparé du chlorure d'argent par amalgamation, il est d'abord, au moyen du fer, du cuivre, du mercure, du zinc ou du plomb, converti en métal, qui est transformé en amalgame par le mercure. De l'amalgame, l'argent est extrait par distillation du mercure.

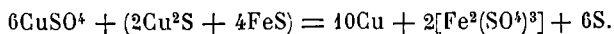
### C. Séparation des métaux des sulfures métalliques par voie électrométallurgique.

Il a déjà été question de l'extraction des métaux des sulfures métalliques liquéfiés par fusion ignée à propos de la séparation par voie sèche des métaux de ces sulfures.

La plupart des sulfures métalliques conduisent le courant. Les sulfures métalliques artificiels, les mattes, sont de bons conducteurs du courant.

Si, maintenant, on emploie comme anodes du courant des sulfures métalliques ou des combinaisons de plusieurs sulfures métalliques conduisant le courant, comme électrolyte une solution saline d'un des métaux à séparer et comme cathode une lame de cuivre, les métaux, avec une tension et une densité de courant convenablement choisies, sont dissous et précipités à la cathode, tandis que le soufre est séparé à l'anode.

Jusqu'à présent, l'électrolyse des sulfures métalliques par voie humide n'a été employée qu'accidentellement et avec des résultats peu favorables pour l'extraction du cuivre des mattes. En se servant d'une solution acide de sulfate de cuivre, l'électrolyse se passe d'après l'équation suivante :



Il est alors séparé à la cathode plus de cuivre qu'il n'en entre en dissolution à l'anode, de sorte que l'électrolyte devient très promptement pauvre en cuivre, et doit être remplacé par une nouvelle solution de cuivre.

Dans le procédé de SIEMENS et HALSKE, le cuivre des minerais contenant du sulfure de cuivre est dissous en dehors du circuit par traitement au moyen d'une solution de sulfate ferrique, et la solution obtenue, contenant du sulfate ferreux ou du sulfate de cuivre, est soumise à l'électrolyse.

Dans le procédé de HÖPFNER, le sulfate de cuivre est également dissous en dehors du circuit par traitement des minerais le contenant avec une dissolution de bichlorure de cuivre, et la solution de protochlorure de cuivre ainsi obtenue est électrolysée.

Dans les deux cas, l'électrolyse est effectuée de façon que le dissolvant soit régénéré.

### 5. — Scorification des corps sans valeur dans les opérations de fusion.

Dans les procédés par fusion, on transforme les corps sans valeur non volatils qui sont combinés avec les métaux ou mélangés avec les combinaisons de ces derniers, en combinaisons facilement fusibles, se séparant facilement, grâce à leur poids spécifique, des métaux ou des composés métalliques fondus, et auxquelles on donne le nom *scories*<sup>1</sup>. La transfor-

<sup>1</sup> [On donne plus particulièrement le nom de *scories* à celles de ces combinaisons qui contiennent des oxydes des métaux lourds et celui de *laitiers* à celles qui ne renferment que des bases terreuses ou alcalino-terreuses.]

mation des corps en question en pareilles combinaisons est appelée **scorification**.

Dans un grand nombre de procédés, les scories sont indispensables au métallurgiste, surtout dans les fusions aux fours à cuve, parce qu'elles préservent les métaux et les composés métalliques de l'oxydation par le vent de la soufflerie, et que, par leurs propriétés physiques et chimiques (couleur, degré de fusibilité, degré de fluidité, mode de solidification, poids spécifique, composition), elles indiquent la nature de la marche du four; celle-ci est réglée conformément à la composition variée des corps à fondre par la composition de la scorie.

Les principes de la formation des scories et les propriétés de celles-ci offrent donc pour le métallurgiste une importance toute particulière.

La *règle pour la scorification est la transformation des corps à scorifier en silicates*. Le phosphore au contraire est transformé en phosphate. En outre, dans quelques procédés par fusion oxydante (raffinages, affinages), il se forme des *scories oxydées*, qui, avec des quantités relativement faibles d'acide silicique, renferment surtout des oxydes des métaux lourds.

Dans beaucoup de cas, on ne peut pas éviter que les scories absorbent aussi, indépendamment des corps sans valeur, des particules des métaux à séparer ou de leurs combinaisons. Elles constituent alors, comme on l'a déjà dit, une matière pour l'extraction des métaux. Elles trouvent aussi emploi dans les opérations de fusion comme fondants ou agents de désagrégation.

#### Scories silicatées.

Comme on l'a déjà dit précédemment (p. 14), à propos des scories silicatées, considérées comme matières pour l'extraction des métaux, ces scories peuvent être considérées comme des dissolutions de différentes combinaisons chimiques l'une dans l'autre. Au point de vue de leur degré de silicification, on les divise, ainsi qu'on l'a également expliqué antérieurement, en subsilicates, singulosilicates, sesquisilicates, bisilicates et trisilicates.

Les corps nécessaires pour la formation des scories silicatées ne sont que rarement mélangés avec les métaux ou les combinaisons métalliques dans la proportion convenable. Si, dans les opérations de fusion, les combustibles se trouvent en contact immédiat avec les corps métalliques, la cendre de ces combustibles doit aussi passer dans les scories. Dans la plupart des cas, il faut ajouter, pour la formation des scories des corps contenant de l'acide silicique ou des bases. Parmi les corps renfermant de l'acide silicique, on emploie le quartz, des roches et des minerais siliceux, ainsi que des scories riches en acide silicique (scories acides). Comme bases pour la scorification de l'acide silicique, on se sert de chaux, d'alumine, de magnésie, de baryte, de protoxyde de fer, de protoxyde de manganèse, ainsi que de scories riches en bases (scories basiques).

Les corps que l'on vient de nommer doivent être ajoutés en proportions telles qu'il se forme des scories facilement fusibles, se séparant facilement, grâce à leur poids spécifique, des métaux ou des composés métalliques à extraire. Leur degré de fluidité doit être tel que les différentes



particules des métaux fondus et des composés métalliques à extraire puissent se rassembler facilement dans les scories et s'y enfoncer de façon à être surnagés par ces dernières. Les métaux et les composés métalliques sont ainsi préservés des influences oxydantes par une couche de scories liquides.

En outre, les scories, s'il ne se produit pas de changements dans la composition des corps métallifères, ou des fondants et des combustibles, doivent avoir une composition constante, qui doit être telle qu'elles ne puissent exercer aucune action chimique sur les produits finis de la fusion.

Le *point de fusion* des scories est dans la plupart des cas *au-dessous* de la température nécessaire pour leur formation. (C'est pour cette raison que des briques réfractaires, auxquelles l'acide silicique n'est mélangé que mécaniquement, possèdent un point de fusion plus élevé que celles qui contiennent l'acide silicique à l'état de combinaison chimique.) Cela tient à ce que les différents éléments, dont une partie est très difficilement ou pas du tout fusible, subissent avant leur entrée dans la combinaison des changements moléculaires.

C'est pour cela que l'on emploie ordinairement comme agents de scorification, au lieu de bases ou d'acides purs, des scories acides ou basiques. Le point de fusion des scories est en général entre 1100 et 1900°. On doit, en donnant aux scories une composition convenable, le choisir de façon que, si l'on ne doit pas obtenir des métaux ou des composés métalliques purs, il se trouve au-dessus de la température de réduction du métal que l'on veut extraire, et au-dessous de la température de réduction des bases qui doivent être scorifiées.

Si, par exemple, d'un mélange de bioxyde de cuivre et de sesquioxyde de fer (matte cuivreuse grillée à mort), on veut extraire le cuivre à l'état métallique, mais scorifier le fer, la scorie à former doit fondre à une température à laquelle le bioxyde de cuivre est déjà réduit en cuivre, tandis que le sesquioxyde de fer se trouve encore au degré de réduction de l'oxydure. Si la scorie fondait à une plus basse température, le cuivre serait aussi scorifié; si, au contraire, sa température de fusion était plus haute, le protoxyde de fer serait aussi réduit en métal, de sorte que du cuivre et du fer seraient en même temps séparés. Si, au contraire d'un mélange de sesquioxyde de fer et d'acide silicique, on veut séparer le fer à l'état de métal, la scorie, qui dans ce cas est formée par addition de chaux (et de corps contenant de l'alumine), doit fondre à une température à laquelle le fer est déjà réduit en métal. Autrement, le fer serait scorifié. On compose donc le lit de fusion de façon que le point de fusion des scories soit un peu plus haut que celui des métaux ou des composés métalliques séparés. Si les scories ont un point de fusion trop élevé, des métaux se volatilisent (plomb) et il se produit des réductions d'oxydes que l'on ne désire pas (réduction de fer dans l'extraction du plomb, de l'argent, du cuivre).

#### *Fusibilité des scories.*

La fusibilité des scories dépend aussi bien des degrés de silicification que de la nature des bases.

Les degrés de silicification que produit le métallurgiste ne vont pas

au delà du trisilicate, parce que les degrés supérieurs sont trop difficilement fusibles.

De ces degrés de silicification, les *subsilicates*, en présence de *bases des métaux lourds* (protoxyde de fer, protoxyde de manganèse, oxyde de plomb), sont les plus facilement fusibles; viennent ensuite les singulosilicates, puis les bisilicates et enfin les trisilicates, qui sont les plus difficilement fusibles. En présence de *bases terreuses* (alumine, chaux, baryte, magnésie), les scories qui, relativement à leur degré de silicification se trouvent *entre le singulosilicate et le bisilicate*, sont les plus facilement fusibles, tandis que les scories avec teneur croissante en acide silicique (trisilicates), aussi bien qu'en base (subsilicates) sont *les plus difficilement fusibles*.

Les *bases à faire entrer dans les scories*, lors de l'extraction de la fonte, sont surtout la chaux, la magnésie, la baryte, l'alumine, le protoxyde de manganèse, auxquels il faut ajouter, lors de l'extraction des autres métaux ou lors de la séparation de composés métalliques correspondants, le protoxyde de fer et l'oxyde de zinc et, lors du traitement de la fonte pour fer malléable, l'oxyde salin de fer et le protoxyde de manganèse. A ces corps viennent encore se joindre les alcalis provenant de la cendre des combustibles et des agents de réduction, ainsi que des additions alcalines. Une certaine quantité d'oxydes des métaux que l'on veut extraire, par exemple, des oxydes du cuivre, du plomb, du nickel, du cobalt, ainsi que des combinaisons sulfurées du cuivre, de l'argent, du plomb, passent aussi dans les scories, contre la volonté du métallurgiste. (Dans ces cas, les scories constituent pour l'extraction des métaux les matières premières, dont il a déjà été question; voy. p. 11.) D'autre part, on doit, lors de l'extraction de la fonte, faire passer aussi le soufre dans la scorie.

Des combinaisons des bases avec l'acide silicique, les silicates alcalins, sont les plus facilement fusibles, viennent ensuite les silicates de plomb, de protoxyde de fer, de protoxyde de manganèse, de protoxyde de cuivre, puis les silicates des terres alcalines, qui sont difficilement fusibles, et enfin les silicates d'alumine, de sesquioxyde de fer, d'oxyde de zinc et d'étain, qui sont très difficilement fusibles.

Les silicates à une seule base, dont le métallurgiste a à s'occuper, sont plus difficilement fusibles que les silicates avec plusieurs bases. Ainsi, les silicates d'alumine sont d'une fusibilité extrêmement difficile, les silicates de chaux et les silicates de magnésie sont très difficilement fusibles. Mais, si les silicates d'alumine s'unissent avec des silicates de chaux ou avec des silicates de magnésie, il se forme des silicates doubles facilement fusibles et très fluides. La même chose a lieu lorsque des silicates d'alumine s'unissent avec des silicates de protoxyde de fer ou des silicates de protoxyde de manganèse, ou lorsque des silicates de chaux ou des silicates de magnésie s'unissent avec des silicates de protoxyde de fer ou des silicates de protoxyde de manganèse.

*C'est pour cela que le métallurgiste ne produit que des scories avec plusieurs bases, et ordinairement des scories avec des monoxydes et un sesquioxyde (alumine) ou des scories qui ne contiennent que des monoxydes (protoxyde de fer, protoxyde de manganèse d'une part, chaux, magnésie, oxyde de zinc d'autre part).*

*Fusibilité des différents silicates.* — Des *silicates de chaux*, le *bisilicate* est le plus facilement fusible, le *singulosilicate* et le *trisilicate* sont très difficilement fusibles, le *subsilicate* est presque infusible dans nos fours.

Les *silicates de magnésie* sont tous très difficilement fusibles. Les différents degrés de silicification offrent relativement à la fusibilité de moins grandes différences que les silicates calcaires.

Les *silicates de l'alumine* sont tous très difficilement fusibles.

Les *silicates de protoxyde de fer* sont plus facilement fusibles que les silicates qui viennent d'être mentionnés. Le plus difficilement fusible est le *trisilicate*.

Les *silicates de sesquioxyde de fer* sont tous très difficilement fusibles.

Les *silicates de protoxyde de manganèse* sont facilement fusibles ; il en est de même des silicates de plomb.

Parmi les *silicates terreux avec plusieurs bases*, les silicates de chaux et d'alumine sont les plus facilement fusibles ; viennent ensuite, avec fusibilité décroissante, les silicates de chaux et de magnésie, les silicates de baryte et d'alumine et enfin les silicates de baryte et de chaux. On peut, en ajoutant de plus grandes quantités de chaux et encore plus de magnésic et d'alumine, rendre ces silicates difficilement fusibles. On augmente leur fusibilité par une addition de protoxyde de manganèse, de protoxyde de fer, d'oxyde de plomb et d'alcalis.

Dans l'extraction de la fonte au haut fourneau, le métallurgiste produit des silicates de chaux et d'alumine, tandis que, dans l'extraction du cuivre, du plomb, de l'argent, du nickel, il fait passer le fer dans la scorie et produit des silicates de protoxyde de fer, de chaux et d'alumine ou de protoxyde de fer et de chaux.

Dans l'extraction de la fonte, on fait passer dans la scorie (laitier) sous forme de sulfure de calcium le soufre contenu dans le lit de fusion. La température de formation du laitier est élevée par addition au lit de fusion de plus grandes quantités aussi bien d'acide silicique que de chaux ou d'alumine. Lorsque la fusion a lieu au charbon de bois, qui, on le sait, ne contient pas de soufre, on produira la haute température nécessaire pour l'obtention de certaines fontes (fonte grise, fonte de moulage) en augmentant l'addition de l'acide silicique, c'est-à-dire en formant des scories acides (trisilicate). Si, au contraire, les minerais contiennent du soufre ou si on fond au coke, qui renferme toujours du soufre, on ne peut empêcher la pénétration de ce dernier dans la fonte qu'en le faisant passer sous forme de sulfure de calcium dans une scorie riche en chaux. Si, par conséquent, on veut produire de la fonte grise, exempte de soufre, il est nécessaire de former une scorie riche en chaux ; on obtient, dans ce cas, l'élévation de température en augmentant la proportion du fondant calcaire.

#### *Fluidité et mode de solidification des scories.*

Ces deux propriétés sont indépendantes de la fusibilité des scories, parce que des scories facilement fusibles, de même que des scories difficilement fusibles peuvent posséder le même degré de fluidité et se solidifier de la même manière.

En général, les scories riches en acide silicique sont visqueuses et se solidifient lentement, tandis que les scories riches en bases sont plus fluides et se solidifient rapidement.

On nomme les scories de la première espèce scories *longues*, parce qu'avant de se solidifier elles passent par un état pâteux, dans lequel on peut les étirer en fils plus ou moins longs. A cette catégorie appartiennent surtout les trisilicates, qui renferment en même temps de l'alumine et de la magnésie. Les scories de la seconde espèce, qui ne peuvent pas être étirées en fils, mais se séparent facilement en gouttes, sont appelées scories *courtes*. Les scories riches en chaux renfermant en même temps du protoxyde de fer et du protoxyde de manganèse sont des scories courtes. De faibles quantités de protoxyde de fer et de protoxyde de manganèse suffisent pour rendre fluides des scories longues.

Comme les différents degrés de silicification fondent facilement ensemble en donnant des masses homogènes, on produit ordinairement des mélanges de différents degrés de silicification possédant le degré de fluidité désiré.

#### *Structure des scories.*

La structure des scories dépend de leur composition chimique et de la manière dont elles se sont refroidies. Les scories sont vitreuses, pierreuses, cristallines et dans nombre de cas aussi elles se présentent en cristaux nettement formés. Les différents modes de structure passent de l'un à l'autre, comme on peut l'observer dans les scories en gros morceaux.

Lorsque les scories se sont refroidies rapidement, leur structure est dans la plupart des cas vitreuse ou porcelanique, elle est pierreuse ou cristalline si le refroidissement s'est effectué lentement. Les scories riches en terres conservent une structure pierreuse même en se refroidissant rapidement, tandis que les scories avec un haut degré de silicification, en se refroidissant rapidement offrent toujours une structure vitreuse, qui par un refroidissement lent passe à la structure pierreuse ou cristalline. Lorsque les scories se refroidissent très lentement, des cristaux bien formés prennent naissance dans les cavités qui se produisent dans les scories en gros morceaux.

Les scories riches en acide silicique cristallisent beaucoup plus difficilement que celles qui sont riches en bases (surtout en protoxyde de fer).

Les scories basiques riches en chaux fusent pendant leur solidification ou bientôt après et se réduisent en poussière. Ce phénomène a pour cause la décomposition du sulfure de calcium contenu dans ces scories par l'oxygène, l'acide carbonique et l'humidité de l'air.

Beaucoup de scories (scories longues) se boursoufflent lorsqu'on les arrose avec de l'eau en formant des masses analogues à la pierre ponce. Cette propriété, qui est également due à la facilité avec laquelle se décompose le sulfure de calcium renfermé dans les scories, est annihilée par la présence d'une faible quantité de protoxyde de fer.

Certaines scories se résolvent en poussière, lorsqu'on les arrose avec de l'eau.

*Couleur des scories.*

La couleur des scories est extrêmement variable. Elle est en partie produite par des causes qui nous sont encore inconnues.

Ainsi, par exemple, de nombreuses scories de même composition chimique offrent extérieurement une couleur verte avec une structure vitreuse et intérieurement une couleur gris-violet avec une structure cristalline.

La couleur des scories terreuses est blanche ou grise. La présence d'une faible quantité de protoxyde de fer les colore en verdâtre. Une teneur plus grande en protoxyde de fer, ainsi que la présence de sulfate de fer colorent les scories en noir. Le protoxyde de manganèse leur communique une coloration variant du jaune au brun, tandis que la présence simultanée du protoxyde de manganèse et du protoxyde de fer produit une coloration vert jaunâtre.

En présence de soufre, une teneur modérée en manganèse dans les scories riches en acide silicique, le protoxyde de fer étant absent ou n'existant qu'en faibles quantités, donne lieu, d'après LEDEBUR<sup>1</sup>, à des colorations bleues. Du reste, la cause intime de la coloration bleue des scories n'est pas encore exactement connue.

Le protoxyde de cuivre communique aux scories des colorations variant du rouge au brun ; l'oxyde de plomb les colore en blanc.

*Poids spécifique des scories.*

Le poids spécifique des scories oscille, suivant leur composition, entre 2,5 et 5. Les scories riches en oxydes des métaux lourds sont celles qui possèdent le poids spécifique le plus élevé, tandis que les scories terreuses, surtout si elles sont riches en acide silicique, ont un poids spécifique de 2,5 à 3.

*Manière dont se comportent le spath fluor, les sulfures métalliques, le spath pesant, et le gypse dans la formation des scories.*

Le spath fluor, qui se trouve fréquemment mélangé avec les minerais, se distingue par une grande fluidité et il a la propriété de dissoudre, sans les décomposer, des corps difficilement fusibles (spath pesant, gypse). Comme, en outre, il scorifie l'acide silicique par la chaux qu'il renferme et en transforme une partie en fluorure de silicium volatil, il constitue un agent de scorification et un fondant très appréciés.

Il agit sur l'acide silicique d'après l'équation suivante :



Les *sulfures métalliques* (sulfures de baryum, de calcium, de zinc) sont dissous par les scories basiques. C'est pour cela qu'on a recours à

<sup>1</sup> *Manuel de la métallurgie du fer*, deuxième édition française par BARBARY DE LANGLADE, t. I, p. 251. Paris, CH. BÉRANGER, éditeur.

des scories riches en fer (dans l'extraction du cuivre et du plomb) pour dissoudre le sulfure de baryum et le sulfure de zinc, à des scories riches en chaux (dans l'extraction de la fonte) pour dissoudre le sulfure de calcium, le sulfure de baryum et le sulfure de manganèse.

Le *spath pesant* et le *gypse* sont réduits en sulfure de baryum ou sulfure de calcium, qui sont dissous par la scorie ou bien, à de plus hautes températures, ils sont transformés, par suite de l'expulsion de leur acide sulfurique par l'acide silicique, en silicate de baryte ou silicate de chaux.

#### Scories oxydées.

Les scories oxydées se forment surtout dans la préparation du fer malléable par affinage de la fonte et dans le raffinage des métaux bruts. Dans l'affinage de la fonte, il se produit de l'oxyde salin de fer, qui est dissous par du silicate de protoxyde de fer et rend la scorie difficilement fusible. Le silicate de protoxyde de manganèse, qui prend naissance dans l'affinage de la fonte manganésifère, n'absorbe pas l'oxyde salin de fer.

---

## CHAPITRE III

### CORPS A L'AIDE DESQUELS LA SÉPARATION DES MÉTAUX EST PRODUITE OU FAVORISÉE

Comme il résulte de la description des procédés de séparation, ce n'est que dans des cas relativement peu nombreux que la séparation des métaux et des composés métalliques peut être effectuée par la chaleur ou l'électricité seules. Dans la plupart des cas, les corps métallifères sont mis en contact plus ou moins intime avec d'autres corps. Souvent, ces corps se trouvent dans les minerais, ou dans des produits métallurgiques, ou ils se forment à leurs dépens dans le cours de l'opération. Ils agissent chimiquement ou mécaniquement ou bien leur action est à la fois chimique et mécanique.

Comme on l'a déjà dit, on nomme *additions* ou *fondants* les corps à l'état d'agrégation solide employés dans le but qui vient d'être indiqué, et on appelle *formation du lit de fusion* l'opération du mélange des corps métallifères avec les fondants.

Dans les procédés par fusion, on donne plus spécialement le nom de *fondants* ou de *flux* aux additions qui doivent contribuer à la formation d'une scorie fluide. Si les additions ne doivent servir qu'à désagréger la charge pendant la fusion, on les appelle *agents de désagrégation*. Dans la plupart des cas, certaines additions (scories) offrent à la fois les propriétés des agents de désagrégation et celles des fondants.

On emploie aussi quelquefois comme additions des *produits intermédiaires métallifères*, qui dans l'opération de la fusion doivent absorber d'autres métaux [par exemple, le plomb pour l'argent ou la litharge (oxyde de plomb) après réduction également pour l'argent].

#### I. — CORPS QUI SONT EMPLOYÉS DANS LES PROCÉDÉS PAR VOIE SÈCHE POUR PRODUIRE OU FAVORISER LA SÉPARATION

Les corps employés dans ce but sont soit solides, soit gazeux à la température ordinaire.

##### 1. — Dans les procédés par calcination.

Dans les procédés par calcination avec *action oxydante*, on emploie comme *agents d'oxydation* :

Parmi les **corps solides** : le sesquioxyde de fer, l'oxyde salin de fer, le peroxyde de manganèse, le sulfate de fer, la pyrite.

Parmi les **corps gazeiformes** : l'air atmosphérique, la vapeur d'eau et l'acide sulfurique à l'état de vapeurs.

Les oxydes de fer et de manganèse servent pour l'élimination du carbone de la fonte (cémentation oxydante). Le sulfate de fer sert pour l'oxydation des sulfures métalliques lors du grillage ; il se transforme alors en sesquioxyde de fer et acide sulfurique en vapeurs, qui cède une partie de son oxygène pour l'oxydation et se convertit en même temps en acide sulfureux. La pyrite est, lors du grillage, transformée partiellement en sulfate de fer, qui agit comme oxydant de la façon qui vient d'être indiquée.

L'air atmosphérique est l'agent oxydant le plus fréquemment employé, il contient dans 100 parties en volume 21 p. 100 d'oxygène et 79 p. 100 d'azote, dans 100 parties en poids 23 p. 100 d'oxygène et 77 p. 100 d'azote. La teneur de l'air en vapeur d'eau s'élève en moyenne à 0,8 p. 100 en volume et celle en acide carbonique à 0,041 p. 100 en volume.

La vapeur d'eau n'est employée qu'exceptionnellement dans le grillage oxydant. L'eau se compose de 88,89 p. 100 d'oxygène et de 11,11 p. 100 d'hydrogène. 1 kilogramme d'eau = 1 litre fournit 1700 litres de vapeur d'eau à 100°. Le poids d'un litre de vapeur d'eau à 100° et 760 millimètres de pression barométrique est égal à 0,80559 grammes.

L'acide sulfurique en vapeurs est un oxydant énergique. On ne le dégage que pendant le grillage des sulfates du fer, qui se forment aux dépens des sulfures du fer qui se trouvent dans les masses soumises au grillage ou y ont été ajoutés.

Dans la calcination avec **action réductrice**, on emploie comme **agents de réduction** parmi les **corps solides**, des corps contenant du carbone (coke, charbon de bois, lignite, houille, sciure de bois), parmi les **corps gazeiformes**, l'oxyde de carbone (avec les hydrocarbures, le gaz cyanogène et l'hydrogène produits accidentellement). L'oxyde de carbone est produit par combustion de charbon au moyen de l'air atmosphérique.

Il a déjà été donné précédemment relativement à l'action de ces agents de réduction les indications nécessaires.

Dans la calcination avec **action chlorurante**, on emploie comme **agents de chloruration**, parmi les **corps solides**, le sel marin, les sels de déblai et le chlorure de calcium. Des **gaz à action chlorurante**, chlore et acide chlorhydrique, ne sont produits que pendant la calcination elle-même (pendant le grillage chlorurant) par l'action sur le chlorure de sodium d'acide sulfurique en vapeurs résultant de la décomposition de sulfates.

Dans la calcination avec **action carburante** (préparation de l'acier cémenté), on emploie, comme **agent de carburation solide**, la poudre de charbon de bois, comme **agents de carburation gazeux**, des hydrocarbures et le gaz cyanogène.

## 2. — Dans les procédés par fusion.

Dans ces procédés, on emploie, suivant l'espèce de la fusion : des agents d'oxydation, de réduction, de réaction, de précipitation, de sulfuration, d'arsénication, de chloruration, de carburation, de désagrégation, des



dissolvants pour les métaux ou des agents de décomposition pour les alliages et les sels. Parmi ces agents, les agents d'oxydation, de réduction, d'oxydation et de chloruration sont solides ou gazeux, tandis que les autres sont tous solides à la température ordinaire.

Comme **agents d'oxydation**, on se sert, parmi les **corps solides**, des oxydes du fer et du manganèse, ainsi que des scories ferrugineuses basiques (scories riches) pour l'élimination du carbone, du phosphore et du silicium de la fonte (affinage), du sulfate acide de sodium ou de potassium pour éliminer l'argent de l'or, du salpêtre pour purifier l'argent et l'or des éléments étrangers, du sulfate d'argent pour oxyder les métaux étrangers (bismuth, plomb) dans l'argent, de l'oxyde de plomb pour l'oxydation du zinc dans le plomb, du protoxyde de cuivre (mais qui n'est formé que dans le cours de l'opération par oxydation de cuivre au moyen de l'air atmosphérique) pour l'oxydation du soufre dans le raffinage du cuivre.

Comme agents d'oxydation, on emploie, parmi les **corps gazeux**, l'air (dans la plupart des opérations de fusion avec action oxydante), la vapeur d'eau pour l'oxydation du zinc dans les alliages plomb-zinc et plomb-zinc-argent.

L'air est dirigé sur les masses fondues à oxyder à l'aide de souffleries ou du tirage de cheminées, ou bien il est refoulé au sein des masses elles-mêmes au moyen de souffleries (procédé Bessemer, même procédé appliqué au cuivre). La vapeur d'eau avec une tension convenable est dirigée dans les masses fondues.

Comme **agents de réduction**, on emploie, parmi les **corps solides**, le charbon et les corps contenant du charbon, le phosphore ainsi que les sulfures métalliques; parmi les **corps gazéiformes**, l'oxyde de carbone, les hydrocarbures, l'hydrogène.

Les agents de réduction ordinairement employés sont le charbon et l'oxyde de carbone. On emploie le phosphore et les phosphures métalliques pour la réduction du protoxyde de cuivre dans le raffinage du cuivre, les sulfures métalliques (sulfure de cuivre, sulfure de plomb) pour la réduction des oxydes de cuivre et de plomb, les hydrocarbures et l'hydrogène pour la réduction du protoxyde de cuivre dans le raffinage du cuivre. Les agents de réduction gazéiformes sont, dans la plupart des cas, produits par combustion à l'aide de l'air atmosphérique de corps contenant du charbon. L'hydrogène et les hydrocarbures ne sont produits qu'accidentellement. Pour la réduction du protoxyde de cuivre formé pendant le raffinage du cuivre, on produit de l'oxyde de carbone, des hydrocarbures et de l'hydrogène, par distillation sèche de bois en plongeant dans le bain métallique fondu une tige de bois vert. Ce procédé est désigné sous le nom de *perchage*.

Les **agents de réaction** ou **réactifs** servent pour séparer des métaux de sulfates, d'oxydes et de sulfures par décomposition réciproque des oxydes et des sulfates d'une part, avec les sulfures d'autre part. Les sulfates et les oxydes sont par conséquent les agents de réaction pour les sulfures métalliques, tandis que ces derniers le sont pour les premiers. Ils trouvent emploi dans l'extraction du plomb, du cuivre et de l'argent. Le sulfate et l'oxyde de plomb sont des réactifs pour le sulfure de plomb, le protoxyde

et le bioxyde de cuivre pour le sulfure de cuivre, l'oxyde de plomb pour le sulfure d'argent. Pour le sulfure de plomb et sulfure de cuivre les agents de réaction ne sont ordinairement formés que par un grillage oxydant des sulfures, ceux-ci n'étant grillés que de façon à atteindre la proportion convenable entre le sulfure indécomposé et les oxydes ou les sulfates. Pour le sulfure de cuivre, on ajoute aussi des minerais oxydés. Le sulfure d'argent est fréquemment imbibé dans un bain de coupellation de plomb argentifère ; dans ce cas, l'oxyde de plomb formé pendant la coupellation agit comme réactif.

Comme **agents de précipitation**, on emploie soit des métaux, soit des oxydes et des silicates, desquels pendant le cours de l'opération les métaux correspondants sont réduits ; tels sont, par exemple, l'oxyde de plomb, le sesquioxyde de fer, les scories contenant de l'oxyde salin de fer. Le fer, qui est ajouté sous forme de métal ou est réduit de ses oxydes ou de ses scories pendant l'opération, est employé pour la décomposition du sulfure d'antimoine et du sulfure de plomb ; le plomb, qu'il soit ajouté à l'état métallique ou qu'il ne soit réduit d'oxyde de plomb que pendant l'opération, sert pour la décomposition du sulfure d'argent (imbibition, emplombage) ; on emploie la chaux en présence de charbon pour la décomposition du sulfure de fer ( $\text{FeS} + \text{CaO} + \text{C} = \text{CaS} + \text{Fe} + \text{CO}$ ).

Comme **agents de sulfuration**, on se sert ordinairement de sulfures métalliques, rarement de soufre. On emploie ces agents pour l'élimination du cuivre d'alliages ; pour rassembler l'argent de minerais oxydés pauvres dans une matte par fusion des minerais avec de la pyrite ou de la pyrite magnétique ; pour faire passer le cuivre de minerais ou de produits métallurgiques dans une matte par fusion des minerais ou des produits métallurgiques avec des corps contenant du sulfure de fer.

Comme **agents d'arsénication**, on emploie le fer arsénical ou la pyrite arsénicale. On s'en sert pour faire passer dans des *speïss* le nickel et le cobalt de minerais et de produits métallurgiques, surtout de silicates.

On emploie comme **agents de chloruration**, parmi les **corps solides**, les chlorures alcalins et le chlorure de plomb, afin de transformer, en les fondant avec des alliages plomb-zinc ou plomb-zinc-argent, le zinc en chlorure de zinc ; parmi les **corps gazeiformes**, on se sert du chlore gazeux pour transformer en chlorure l'argent d'alliages or-argent.

Comme **agents de carburation**, on emploie le charbon et le carbure de fer pour carburer le fer, le charbon pour carburer le nickel dans l'extraction de ce métal de la garniérite, qui est un silicate de nickel et de magnésium.

Comme **dissolvants pour les métaux**, on se sert de métaux et de sulfures métalliques. Le métal le plus fréquemment employé comme dissolvant est le plomb, et on s'en sert soit à l'état métallique, soit sous forme d'oxyde. Ce dernier est réduit en plomb lors de la séparation qu'il doit contribuer à produire. Le plomb sert comme dissolvant pour l'or et l'argent.

Parmi les sulfures métalliques, le sulfure de fer et les mattes servent comme dissolvants pour l'or et l'argent.

L'or est dissous par ces agents à l'état métallique, l'argent sous forme de sulfure.

On emploie surtout comme **agents de scorification** : l'acide silicique, ainsi que des minerais et des roches contenant de l'acide silicique, l'alumine, la chaux, les oxydes du fer, ainsi que des minéraux et des roches contenant des oxydes du manganèse, le spath fluor, des fondants alcalins et des scories de composition extrêmement variée.

Parmi les minéraux et les roches contenant de l'acide silicique, nous mentionnerons les suivants : quartz ferrugineux, feldspath, hornblende, grès, grauwacke, basalte, schiste argileux, en général toutes les roches qui contiennent de l'acide silicique libre, ou des silicates à un haut degré de silicification. Des silicates tout formés fondent plus facilement que ceux qui se produisent pendant l'opération aux dépens d'acide silicique libre et de bases. C'est pour cela que l'on préfère, comme agents de scorification, des silicates acides tout formés à l'acide silicique libre. On emploie les corps siliceux qui viennent d'être nommés pour la scorification de bases et de silicates riches en bases.

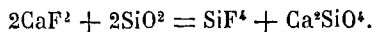
On ajoute des roches contenant de l'alumine, comme l'argile limoneuse, la terre à potier, le schiste argileux, aux lits de fusion calcaires, parce que ces roches donnent en se combinant avec la chaux des scories facilement fusibles, d'un poids spécifique relativement peu élevé.

On emploie fréquemment comme fondants basiques des minéraux et des roches contenant de la chaux (spath calcaire, marbre, pierre calcaire, marne). Lorsqu'il ne doit être scorifié que de l'acide silicique, comme dans la fabrication de la fonte avec des minerais de fer quartzeux, il est bon que les additions calcaires renferment de la magnésie ou de l'alumine, afin de former des silicates doubles facilement fusibles. Si au contraire les minerais sont argileux, une addition de chaux pure est suffisante. La chaux est ordinairement employée sous forme de carbonate de calcium, qui, à chaud, perd son acide carbonique.

On emploie des oxydes du fer pour la formation de silicates doubles de protoxyde de fer facilement fusibles, aux dépens de corps contenant de l'acide silicique, dans l'extraction du plomb, du cuivre et de l'argent.

Les oxydes de manganèse sont employés dans l'extraction de la fonte. Le protoxyde de manganèse forme également avec l'acide silicique des scories facilement fusibles. Dans beaucoup de cas, le manganèse doit être introduit dans le fer.

Le spath fluor est un agent de scorification très utile, parce que outre qu'il agit chimiquement sur l'acide silicique, il constitue, par suite de sa propriété de fondre en un liquide très fluide et de dissoudre sans les décomposer des corps difficilement fusibles (gypse, spath pesant), un excellent fondant. Il transforme l'acide silicique partie en silicate de chaux, partie en fluorure de silicium volatil, d'après l'équation :



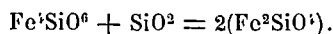
Le spath fluor passe en majeure partie indécomposé dans la scorie, où il exerce une action favorable par sa grande fluidité et son pouvoir dissolvant.

Les fondants alcalins (carbonates de potasse et de soude, sel de Glauber, sel marin, borax), à cause de leur prix élevé, ne sont que rarement

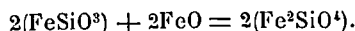
employés comme agents de scorification. Ils agissent chimiquement ou seulement comme dissolvants, ou bien encore comme enveloppe protectrice pour les métaux et les corps métallifères fondus.

Les *scories* agissent aussi bien chimiquement que comme dissolvants et comme fondants. Dans les opérations par fusion, ces trois actions des scories sont ordinairement réunies.

Les *scories basiques* peuvent encore absorber de l'acide silicique et servent par suite comme agents de scorification pour l'acide silicique et les silicates acides. Ainsi, par exemple, une scorie ferrugineuse basique absorbe encore de l'acide silicique, d'après l'équation :



Les scories *acides* peuvent encore absorber une certaine quantité de bases et servent par suite comme agents de scorification pour ces dernières et pour des silicates fortement basiques. Le protoxyde de fer, par exemple, est absorbé par des scories acides, d'après l'équation :



Les scories *neutres* servent comme fondants, ainsi que comme enveloppes protectrices des métaux et des combinaisons métalliques fondus contre l'oxydation et autres influences. Elles agissent comme flux en fondant avec les autres scories et les rendant ainsi plus facilement fusibles. Elles jouent le rôle d'agents protecteurs des métaux et composés métalliques fondus en enveloppant les corps en question, les laissant ensuite les traverser (grâce à leur poids spécifique moins élevé) et se réunir en un tout, sur lequel elles forment une couche protectrice.

#### *Agents de désagrégation.*

Ces agents ne sont destinés à produire qu'une action mécanique ; lors de la fusion de corps métallifères pulvérulents dans certaines espèces de fours (fours à cuve), ils doivent maintenir la charge poreuse et la rendre ainsi perméable aux gaz.

On emploie dans ce but des scories ou des additions en morceaux, qui doivent en même temps exercer une action chimique ou dissolvante.

#### *Agents de décomposition pour les alliages.*

Indépendamment des agents d'oxydation, de chloruration et de sulfuration dont il a déjà été question, on emploie aussi pour la décomposition des alliages des *métaux* : le plomb pour la décomposition des alliages cuivre-argent ou cuivre-argent-or et pour l'absorption de l'argent ou de l'or ; le zinc pour la décomposition des alliages plomb-argent ou plomb-argent-or et pour l'absorption de l'argent ou de l'or (désargentation par le zinc).

#### *Agents de décomposition pour les sels.*

Indépendamment des agents de réduction, de réaction, de sulfuration et d'arsenication, on emploie également pour la décomposition des sels

l'acide silicique pour décomposer le sulfate de plomb, le sesquioxyde de fer et l'oxyde salin de fer, préalablement réduits en oxydule, pour décomposer les silicates de plomb ( $2\text{FeO} + \text{Pb}^2\text{SiO}^4 = 2\text{Pb} + \text{Fe}^2\text{SiO}^4$ ), la chaux et le charbon pour décomposer les silicates du fer, etc.

### 3. — Dans les procédés par vaporisation.

Dans ces procédés, on emploie comme corps destinés à produire ou à favoriser la séparation des métaux ou des composés métalliques des agents d'oxydation, de réduction, de précipitation, de sulfuration et d'arsénication et des agents de décomposition pour les sels. Les **agents oxydants sont gazeiformes**, les **agents réducteurs sont solides** ou **gazeiformes** et les autres sont solides.

Comme **agents d'oxydation**, on se sert de l'air atmosphérique pour l'oxydation du soufre du cinabre, en vue de l'extraction du mercure, qui est en même temps mis en liberté à l'état de vapeurs, ainsi que pour l'oxydation des arséniures et arsénio-sulfures métalliques, en vue de l'extraction de l'acide arsénieux.

Comme **agents de réduction**, on emploie le charbon et l'oxyde de carbone (ce dernier ne se forme que lors de la réduction) pour réduire le zinc, le cadmium et l'arsenic des oxydes de ces métaux.

Comme **agents de précipitation**, le fer ou la chaux et le charbon servent pour la décomposition du sulfure de mercure.

Comme **agents de sulfuration** ou **d'arsénication**, on emploie la pyrite ou le fer arsénical pour l'extraction du sulfure d'arsenic par chauffage d'un mélange des deux premiers corps.

Comme **agents de décomposition pour les sels**, nous mentionnerons le charbon, par lequel le zinc est séparé ou réduit du silicate de zinc.

## II. — CORPS QUI DANS LES PROCÉDÉS DE SÉPARATION PAR VOIE HUMIDE SONT EMPLOYÉS POUR PRODUIRE OU FAVORISER LA SÉPARATION

Ces corps sont à la température ordinaire solides, liquides ou gazeiformes.

### 1. — Dans le procédé par voie humide dans le sens restreint.

Nous avons à distinguer :

A. Les agents auxiliaires, à l'aide desquels les composés métalliques sont transformés en un état de combinaison convenable pour la dissolution.

B. Les dissolvants.

C. Les agents destinés à préparer les solutions ou lessives pour la précipitation.

D. Les agents de précipitation.

### A. — Agents auxiliaires pour la dissolution.

Ce sont, parmi les **liquides** : l'eau, les acides (chlorhydrique, sulfurique), des dissolutions, des chlorures métalliques (chlorures de sodium, de calcium, perchlorure de fer, bichlorure de cuivre), solutions de sulfates (sulfate ferreux, sulfate d'aluminium); parmi les **gaz** : l'air, la vapeur d'eau, l'acide sulfureux, l'acide azotique, l'acide azoteux.

On cherche au moyen des corps précédents à transformer les combinaisons sulfurées du cuivre en sulfate ou bichlorure de cuivre solubles.

Parmi les gaz, l'air et la vapeur d'eau doivent transformer en sulfate de cuivre le sulfure de cuivre contenu dans la pyrite jaune, la pyrite blanche ou dans les pyrites grillées de cette espèce, ces matières étant abandonnées à elles-mêmes au contact de l'air.

Le bioxyde de cuivre et les carbonates de cuivre sont transformés en sulfate de cuivre par l'acide sulfureux, la vapeur d'eau et le bioxyde d'azote.

### B. — Dissolvants.

On emploie surtout, parmi les **liquides** : l'eau pour la dissolution de sels et chlorures métalliques (sulfate de cuivre, sulfate de zinc, sulfate d'argent, bichlorure de cuivre, chlorure d'or); l'acide sulfurique concentré pour dissoudre l'argent des alliages d'argent et d'or; l'acide sulfurique étendu pour dissoudre le cuivre d'alliages cuivre-argent, de mattes cuivreuses grillées, de minerais de cuivre oxydés et salins; l'acide azotique pour dissoudre l'argent d'alliages d'or-argent; l'acide chlorhydrique pour dissoudre le cuivre de minerais oxydés et salins ou de minerais grillés ou de mattes; l'eau régale pour dissoudre l'or d'alliages d'or-argent (l'argent reste alors sous forme de chlorure d'argent insoluble); l'eau de chlore pour dissoudre l'or de minerais; des solutions étendues de cyanure de potassium pour dissoudre l'or de minerais; des solutions de chlorures métalliques (surtout de chlorure de sodium) pour dissoudre le chlorure d'argent et le protochlorure de cuivre; les hyposulfites de sodium et de calcium pour dissoudre le chlorure d'argent; le protochlorure de fer pour dissoudre le bioxyde de cuivre et les carbonates de cuivre; le perchlorure de fer pour dissoudre le sulfure de cuivre; le sulfate ferrique pour dissoudre le cuivre du sulfure de cuivre; le perchlorure de fer et le bichlorure d'étain pour dissoudre l'étain des déchets stannifères; le carbonate d'ammonium pour dissoudre l'oxyde de zinc et le bioxyde de cuivre.

On emploie, parmi les **gaz** : le chlore pour dissoudre l'or des minerais d'or, le brome pour dissoudre l'or de ces mêmes minerais.

### C. — Agents destinés à préparer les solutions pour la précipitation.

L'emploi de ces agents a pour but l'élimination des dissolutions de corps altérant la pureté des métaux ou combinaisons métalliques précipitées (précipitation du fer de solutions de nickel par le carbonate de calcium), ainsi que la réduction en sulfates ferreux du sulfate ferrique dans des solu-

tions de cuivre (au moyen de l'acide sulfureux), afin de diminuer la consommation de fer lors de la précipitation du cuivre.

#### D. — Agents de précipitation.

Comme agents de précipitation, on emploie, parmi les **corps solides** : le fer pour la précipitation du cuivre et de l'argent, pour la précipitation du plomb des dissolutions du sulfate de plomb dans le chlorure de sodium ; le cuivre pour la précipitation de l'argent ; le zinc pour la précipitation du cuivre de solutions ammoniacales, pour la précipitation de l'argent du chlorure d'argent ; le charbon de bois pour la précipitation de l'or des solutions de chlorure d'or ; la chaux pour la précipitation d'hydroxyde de cuivre de solutions de chlorure de cuivre.

Parmi les **liquides**, on emploie : l'eau pour précipiter le sulfate d'argent de ses dissolutions dans l'acide sulfurique (dans l'affinage de l'or) ; les sulfures de sodium et de calcium pour précipiter l'argent dissous dans les hyposulfites ; le lait de chaux pour précipiter de l'hydroxyde de cuivre de lessives cuprifères, de l'hydrate de protoxyde de nickel de solutions de nickel ; une solution de sulfate ferreux pour précipiter l'argent de solutions de sulfate d'argent, l'or de solutions aurifères ; une solution de protochlorure de fer pour précipiter l'or de solutions aurifères.

On se sert, parmi les **gaz** : d'hydrogène sulfuré pour précipiter le cuivre et l'argent des solutions qui les renferment.

#### 2. — Dans les procédés par amalgamation.

Il y a à distinguer :

A. Les agents à l'aide desquels les combinaisons métalliques sont transformées en métaux.

B. L'agent d'amalgamation proprement dit.

##### A. — Agents à l'aide desquels les combinaisons métalliques sont transformées en métaux.

Ces agents servent pour séparer à l'état métallique l'argent de ses différentes combinaisons. Ils sont solides ou liquides.

Avec le sulfure et le chlorure d'argent, la séparation a lieu directement. Toutes les autres combinaisons de l'argent, surtout celles avec l'antimoine, l'arsenic et le soufre, ainsi que le sulfure d'argent dont la pureté est altérée par d'autres corps, sont d'abord transformées en chlorure d'argent, duquel l'argent est ensuite séparé.

Pour séparer l'argent du sulfure d'argent pur, on emploie le mercure en présence de fer.

Pour séparer l'argent du chlorure d'argent, on se sert du mercure, du fer (mode de séparation dans lequel le chlorure d'argent est dissous dans une solution de sel marin), le cuivre, le zinc et le plomb.

Les agents, à l'aide desquels les combinaisons de l'argent avec le soufre, l'arsenic et l'antimoine sont transformées par voie humide en chlorure

d'argent (par voie sèche, cette transformation est obtenue au moyen d'un grillage avec du sel marin), sont le chlorure cuivrique et le chlorure cuivreux (ce dernier dissous dans une solution de sel marin). On n'ajoute pas de chlorure cuivrique tout formé, mais sous forme d'un mélange humide de sulfate de cuivre et de sel marin ou sous forme d'un mélange de pyrite grillée contenant du sulfate de fer et du sulfate de cuivre avec du sel marin (*magistral*). Le chlorure de sodium et le sulfate de cuivre se transforment en bichlorure de cuivre et sulfate de sodium.

#### B. — Agent d'amalgamation.

L'agent d'amalgamation employé pour la transformation de l'argent et de l'or en amalgames ou pour dissoudre les métaux en question est le mercure. On l'ajoute presque toujours à l'état de métal. Ce n'est qu'exceptionnellement qu'il est séparé au moyen de fer, pendant l'opération elle-même, d'une solution de bichlorure de mercure.

### III. — CORPS QUI DANS LES PROCÉDÉS ÉLECTROMÉTALLURGIQUES SONT EMPLOYÉS POUR PRODUIRE OU FAVORISER LA SÉPARATION

Dans les procédés électrométallurgiques par voie sèche, on emploie comme additions des sels, dans lesquels sont dissous les corps à décomposer par le courant. Dans les procédés électrométallurgiques par voie humide avec anodes insolubles, on ajoute aux électrolytes certains liquides (acides) destinés à augmenter leur conductibilité.

Dans les procédés électrométallurgiques par voie humide avec anodes solubles, les électrolytes constituent ces additions. Ce sont des dissolutions du métal qui doit être dissous et précipité aux cathodes. Ainsi, lors de la séparation du cuivre et de l'argent de leurs alliages et des mattes, on emploie comme électrolyte une solution de sulfate de cuivre ; lors de la séparation du plomb et de l'argent de leurs alliages, on emploie dans le même but une solution d'acétate de plomb dans l'eau ou dans le sulfate de sodium ; lors de la séparation de l'argent d'avec l'or, l'électrolyte est une solution acide d'azotate d'argent.

---



## CHAPITRE IV

### PRODUCTION DE LA CHALEUR NÉCESSAIRE POUR L'EXTRACTION DES MÉTAUX

La chaleur est, comme l'électricité, l'énergie chimique, l'énergie mécanique et l'énergie radiante, une forme particulière d'énergie. D'après la loi de la conservation de l'énergie, les différentes formes d'énergie peuvent être transformées les unes dans les autres. L'électricité, l'énergie chimique, l'énergie mécanique et l'énergie radiante peuvent être converties en chaleur.

La chaleur nécessaire pour l'extraction des métaux est produite soit par des processus chimiques, soit par le courant électrique.

#### I. — PRODUCTION DE LA CHALEUR PAR DES PROCESSUS CHIMIQUES

La combinaison chimique des corps est, comme on le sait, accompagnée dans le plus grand nombre des cas d'un dégagement de chaleur, tandis que, lors de la décomposition de combinaisons chimiques, de la chaleur est, au contraire, absorbée dans la majorité des cas. La quantité de chaleur, qui est consommée lorsque des combinaisons se décomposent, est égale à celle qui a été dégagée lors de la formation de ces combinaisons.

Dans les procédés de séparation par la combinaison chimique de certains éléments des corps métalliques entre eux, aussi bien qu'avec d'autres corps, il est dégagé de la chaleur. Mais celle-ci ne suffit que dans un petit nombre de cas (procédé Bessemer, procédé Thomas, grillage de sulfures métalliques) pour entretenir la température que nécessite l'opération. Dans la majorité des cas, la chaleur nécessaire doit être produite par des processus chimiques particuliers, indépendamment de celle qui est dégagée par l'opération de la séparation elle-même. Ces processus sont des processus d'oxydation. Comme on le sait, on nomme *oxydation* la combinaison chimique des corps avec l'oxygène.

Cette oxydation peut avoir lieu lentement d'une façon non visible, et sans dégagement de chaleur appréciable, comme, par exemple, lorsque le fer se recouvre de rouille, et lorsque des substances animales et végétales se décomposent au contact de l'air, ou bien elle peut se produire d'une manière vive, avec dégagement de lumière et de chaleur sensible.

On nomme *combustion* l'oxydation se produisant avec vivacité et déve-

loppement de chaleur et de lumière. Les corps, qui en se combinant avec l'oxygène produisent de la chaleur, sont appelés **combustibles**.

Nous distinguons les *combustibles qui forment des éléments des corps métallifères* et brûlent dans certains procédés de séparation, comme le phosphore, le soufre, le silicium, les métaux et le carbone, et les *combustibles proprement dits*, qui sont employés uniquement en vue de la production de chaleur pour l'extraction des métaux, comme le bois, la tourbe, le lignite, la houille, le charbon de bois, le charbon de tourbe, le lignite carbonisé, le coke, le pétrole, l'hydrogène, l'oxyde de carbone et les hydrocarbures. Les combustibles proprement dits renferment comme éléments combustibles du carbone ou de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène ; ils se rencontrent tout formés dans la nature, ou bien ils sont préparés artificiellement.

[L'*aluminium*, qui est employé depuis quelque temps comme agent de réduction, peut être assimilé aux combustibles proprement dits. H. GOLDSCHMIDT a, en effet, montré que non seulement l'aluminium était un réducteur énergique, mais encore que la température résultant de la combustion de ce métal se convertissant en oxyde était assez élevée pour fondre, même sans fondants, les métaux les plus réfractaires. Ce mode de production de chaleur est désigné sous le nom d'*aluminothermie*.]

## 1. — Combustion.

La **combustion des combustibles qui forment des éléments des corps métallifères**, consiste en ce qu'à certaines températures ils se combinent avec l'oxygène, en se transformant en oxydes. L'oxygène est emprunté soit à l'air, soit à certaines de ses combinaisons qui se trouvent mélangées avec les corps métallifères. Les plus importants de ces combustibles sont le silicium, le phosphore, le carbone, le fer, le manganèse les sulfures métalliques.

Le **silicium** est transformé à haute température en anhydride silicique et, comme il sera expliqué ultérieurement, il fournit, en subissant cette transformation, de très grandes quantités de chaleur. Ces quantités sont si considérables qu'elles permettent, sans apport de chaleur extérieure, de préparer du fer fondu d'après le procédé Bessemer.

Le **phosphore** est oxydé à l'état d'anhydride phosphorique, et il dégage également de grandes quantités de chaleur, qui, dans la préparation du fer fondu avec de la fonte phosphoreuse, fournissent la chaleur nécessaire pour l'exécution de l'opération en un espace de temps déterminé.

Le **carbone** est transformé en oxyde de carbone ou en acide carbonique. Il sera question des processus qui se passent lors de sa combustion à propos de la combustion des combustibles proprement dits.

Le **fer** en brûlant se convertit en protoxyde  $\text{FeO}$ , en oxyde salin  $\text{Fe}^{\text{e}}\text{O}^{\text{e}}$  et en sesquioxyde  $\text{Fe}^{\text{e}}\text{O}^{\text{e}}$ .

Le **manganèse** est converti en protoxyde  $\text{MnO}$ , en oxyde salin  $\text{Mn}^{\text{e}}\text{O}^{\text{e}}$  et en bioxyde  $\text{MnO}^{\text{e}}$ .

Les **sulfures métalliques** sont transformés en acide sulfureux, qui se dégage à l'état de vapeur, et en oxydes des métaux correspondants. Dans

certains cas, par exemple, lors du grillage de nombreux sulfures métalliques, la chaleur dégagée par cette combustion suffit pour entretenir la température nécessaire pour le processus en question. (Grillage de la pyrite, de la pyrite cuivreuse contenant de la pyrite de fer, de la matte de cuivre, de la matte de plomb.)

La **combustion des combustibles proprement dits** consiste en ce que leur hydrogène et leur carbone ou leur oxyde de carbone se combinent à une certaine température avec l'oxygène de l'air.

L'**hydrogène** s'unit à l'oxygène en formant de l'eau,  $H^2O$ , qui contient 11,11 p. 100 d'hydrogène et 88,89 p. 100 d'oxygène.

Le **carbone** forme avec l'oxygène deux degrés d'oxydation, l'acide carbonique,  $CO^2$ , avec 27,27 de carbone et 72,73 p. 100 d'oxygène. et l'oxyde de carbone.  $CO$ , avec 42,85 p. 100 de carbone et 57,15 p. 100 d'oxygène.

L'**oxyde de carbone** brûle en se transformant en acide carbonique.

Les **hydrocarbures** donnent en brûlant de l'acide carbonique et de l'eau.

Les corps qui, indépendamment des éléments qui viennent d'être nommés, sont contenus dans les combustibles, comme l'eau, l'azote, les éléments des cendres, ne brûlent pas et ne dégagent pas, par suite, de chaleur lors de la combustion des combustibles. Ils absorbent au contraire une partie de la chaleur dégagée et n'ont, par suite, qu'une action nuisible sur la production de la chaleur.

#### Températures auxquelles a lieu la combustion.

A la température ordinaire, la tendance qu'a l'oxygène à s'unir au carbone, à l'hydrogène et à l'oxyde de carbone des combustibles n'est pas suffisamment grande pour produire une combustion. C'est pour cela qu'il est nécessaire de chauffer d'abord les combustibles à une température déterminée. On nomme **température d'inflammation** la température à laquelle a lieu la combustion des combustibles. Cette température dépend de la composition chimique et de la structure des combustibles. Ce sont les gaz qui présentent les températures d'inflammation les plus hautes. La température d'inflammation s'élève, par exemple, aux chiffres suivants pour :

La tourbe. . . . .	225°
Le bois des conifères. . . . .	295°
La houille. . . . .	326°
Le charbon de bois (préparé à 300-400°) . . . . .	360°
— ( — 1200-1300°) . . . . .	600-700°
L'hydrogène. . . . .	500°
Le méthane. . . . .	800°

Après le chauffage à la température d'inflammation, la combustion se continue d'elle-même sous l'influence de la chaleur ainsi dégagée et d'autant plus facilement que le combustible est plus poreux.

La combustion des combustibles a aussi, indépendamment de sa limite inférieure, la température d'inflammation, une limite supérieure, qui est la température à laquelle les produits résultant de la combustion se

dédoublent, c'est-à-dire la **température de dissociation**. A une haute température, les produits gazeiformes de la combustion : l'eau, l'acide carbonique et l'oxyde de carbone se dédoublent en leurs éléments, de façon que l'affinité chimique entre l'oxygène et les corps combustibles est détruite et c'est pour cela que la combustion doit cesser. Ce dédoublement des produits gazeiformes de la combustion n'est que partiel à certaines températures, mais complet à de très hautes températures. On n'a jusqu'à présent déterminé avec certitude ni la grandeur de ce dédoublement aux différentes températures et dans les différentes conditions, ni la température à laquelle la dissociation des produits gazeux de la combustion est complète. On sait seulement que la dissociation est complète à des températures qui ne sont pas nécessaires pour l'extraction des métaux.

Parmi les différentes indications, se contredisant en partie, qui ont été donnés relativement aux températures de dissociation, nous mentionnons les suivantes. D'après DEVILLE, la *vapeur d'eau* se dédouble entièrement en hydrogène et oxygène à 2 500°, tandis que, d'après les recherches plus récentes de MALLARD et LE CHATELIER, la vapeur d'eau ne se dissocierait pas sensiblement à la température de combustion du gaz oxy-hydrogène en vase clos, c'est-à-dire à 3 480°. Suivant LANGER et V. MEYER, l'*acide carbonique* peut être chauffé dans des vases en platine à 1 700°, sans qu'il se dédouble; dans les expériences effectuées par MALLARD et LE CHATELIER, l'acide carbonique n'offrit à 2 000° aucune trace de dédoublement, ce ne fut qu'à la température de combustion du gaz oxyde de carbone, c'est-à-dire à 3 200° que 30 p. 100 de l'acide carbonique se décomposèrent. D'après d'autres expérimentateurs, le dédoublement de l'acide carbonique commencerait à 1 800-2 000° et serait complet à 3 400°. L'*oxyde de carbone*, d'après les expériences de LANGER et V. MEYER, ne se décompose à 1 700° que dans une faible mesure en carbone et acide carbonique.

Nous ferons remarquer que les températures qui viennent d'être indiquées ne peuvent pas être exactes, parce que, ainsi qu'il sera expliqué ultérieurement, les hautes températures ne peuvent être déterminées exactement ni par le calcul, ni par détermination directe.

#### Combustion avec flamme et sans flamme.

Comme on l'a déjà dit, il y a dans toute combustion *développement de lumière*. Celle-ci se manifeste par l'*apparition d'une flamme* ou par une *incandescence des corps en combustion*.

La flamme est une colonne ou un courant de gaz et de vapeur en combustion. Elle ne peut, par conséquent, se manifester que lors de la combustion de gaz ou de corps fournissant des gaz combustibles, lorsqu'ils sont chauffés. La flamme peut avoir une action aussi bien oxydante que réductrice, ou n'avoir aucune action chimique. C'est pour cela qu'on distingue les flammes oxydantes, les flammes réductrices et les flammes neutres.

On désigne sous le nom de *flambants* les combustibles qui ont la propriété de brûler avec flamme. Aux combustibles flambants appartiennent,

outre les combustibles gazeiformes, le pétrole, le bois, la tourbe, le lignite et la houille, tandis que les combustibles carbonisés, comme le charbon de bois, le coke, sont des combustibles non flambants.

Dans la combustion des combustibles carbonisés, il se produit dans certaines circonstances un dégagement de flamme, lorsque, par exemple, à défaut d'une quantité suffisante d'oxygène, il ne se forme que de l'oxyde de carbone, mais pas d'acide carbonique, ou lorsque l'acide carbonique formé est réduit en oxyde de carbone par le charbon incandescent. Dans la combustion des combustibles flambants, le point le plus chaud se trouve dans la flamme, à la pointe de celle-ci; dans celle des combustibles non flambants, il est à la surface de ces derniers. On peut donner à la flamme des combustibles gazeiformes la longueur que l'on désire, tandis qu'avec les combustibles solides la longueur est limitée. On distingue les combustibles flambants solides, suivant la longueur de la flamme qu'ils produisent, en combustibles à longue flamme et combustibles à courte flamme.

#### Combustion complète et combustion incomplète.

Le carbone des combustibles peut, comme on l'a dit, se transformer en brûlant aussi bien en acide carbonique qu'en oxyde de carbone. Dans le premier cas, la combustion est appelée complète, dans le second incomplète.

Comme nous le verrons, lorsque le carbone brûle en se transformant en acide carbonique, il se dégage plus de chaleur que dans sa combustion avec conversion en oxyde de carbone. Ce dernier gaz peut se produire aussi bien directement, d'après l'équation  $C + O = CO$ , qu'indirectement par contact avec l'acide carbonique déjà formé avec du charbon incandescent, d'après l'équation  $CO^2 + C = 2 CO$ . Dans les deux cas, il est dégagé la même quantité de chaleur, puisque la quantité de chaleur qui est consommée, lors de la réduction de l'acide carbonique en oxyde de carbone, est égale à celle qui a été dégagée lors de la combustion de l'oxyde de carbone avec conversion en acide carbonique. De même, la quantité de chaleur qui se dégage lors de la transformation directe du carbone en acide carbonique est égale à celle qui est produite, lorsque le carbone est d'abord brûlé à l'état de gaz oxyde de carbone et que ce dernier est ensuite converti en acide carbonique.

La combustion du carbone à l'état d'acide carbonique est surtout facile avec les combustibles gazeiformes, parce que ceux-ci peuvent être mélangés intimement avec la quantité d'air nécessaire pour la combustion. Avec les combustibles solides, la combustion du carbone à l'état d'acide carbonique ou d'oxyde de carbone dépend des quantités relatives d'air et de carbone qui sont mises en contact. Si la proportion est telle qu'un atome d'oxygène ne trouve pour l'oxydation qu'un atome de carbone, il se produit de l'oxyde de carbone; si, au contraire, la quantité de l'air, par rapport à celle du carbone, est assez grande pour qu'un atome de carbone trouve deux atomes d'oxygène, il se forme principalement de l'acide carbonique. Avec les mêmes quantités d'air, les combustibles poreux, pulvérulents ou en petits fragments qui offrent à l'air une grande surface,

brûlent, par suite, en produisant surtout de l'oxyde de carbone, tandis que les combustibles denses et en gros morceaux, à cause de la faible étendue de la surface offerte à l'air, brûlent en donnant de l'acide carbonique. Si la couche de combustible atteint une certaine hauteur, l'acide carbonique formé est réduit, en la traversant, en oxyde de carbone.

Les combustions *totale* et *partielle* ne doivent pas être confondues avec les combustions *complète* et *incomplète*. La combustion est totale, lorsqu'elle ne laisse aucun élément combustible, et elle est partielle lorsque le combustible n'est pas entièrement utilisé. La combustion totale est favorisée par le mélange intime des combustibles avec l'oxygène ou l'air et par une haute température. Ce sont, comme on l'a déjà dit, les combustibles gazeiformes qui se laissent le mieux mélanger avec l'air. Avec les combustibles solides, un mélange intime avec l'air n'est pas possible. C'est pour cela que, pour les brûler, il faut beaucoup plus d'air que la quantité indiquée par le calcul.

## 2. — Chaleur dégagée pendant la combustion.

Comme on l'a déjà dit, la combinaison chimique des corps est accompagnée, dans la majorité des cas, d'un dégagement de chaleur et lors de la décomposition des combinaisons chimiques il est, également dans la majorité des cas, consommé de la chaleur. La quantité de chaleur nécessaire pour la décomposition des combinaisons est égale à celle qui s'est produite lors de leur formation. Si, maintenant, lors de l'union chimique de corps, il se produit en même temps des décompositions de combinaisons chimiques et des changements de l'état d'agrégation, il n'est mis en liberté que l'excès de la chaleur dégagée sur la chaleur consommée par la décomposition des combinaisons et les changements de l'état d'agrégation. On nomme cette quantité de chaleur sensible et mesurable la *chaleur de formation* de la combinaison chimique considérée. Si l'union chimique consiste en une *combustion*, on nomme *chaleur de combustion* l'excès de la chaleur produite par la combustion sur la chaleur consommée pour la décomposition des combinaisons chimiques et pour la gazéification des corps solides et liquides.

Le degré de température que peut dégager un combustible en brûlant intégralement est appelé la *température de combustion*.

### A. — Chaleur de combustion.

La *chaleur de combustion* est mesurée par la quantité de chaleur qui est nécessaire pour échauffer de 1° un kilogramme d'eau à 15°. On nomme cette quantité de chaleur *unité de chaleur* ou *calorie-kilogramme*, ou grande calorie et on le désigne par *Cal*. (L'unité scientifique de mesure pour la chaleur est la *calorie-gramme*, c'est-à-dire la quantité de chaleur qui est nécessaire pour échauffer 1 gramme d'eau de 0 à 1°. On l'appelle *petite calorie* et on la désigne par *cal*. OSTWALD prend comme unité la quantité de chaleur qui est nécessaire pour échauffer 1 gramme d'eau de

0 à 100°. On nomme cette quantité *calorie moyenne* ou *calorie d'Ostwald* et on la désigne par K. En tenant compte de la chaleur spécifique de l'eau,  $K = 100,6 \text{ cal.}$ )

D'après la loi de la conservation de l'énergie, la chaleur peut aussi être représentée par d'autres formes d'énergie. Ainsi, on a trouvé par l'expérience que le rendement du travail d'une calorie-kilogramme = 426 kilogrammes par seconde. En outre, une calorie-kilogramme est équivalente à 4177 volts-coulombs d'énergie électrique.

La chaleur de combustion peut, relativement à sa quantité, être rapportée aussi bien à l'unité de poids qu'à l'unité de volume du combustible. On rapporte généralement à l'unité de poids la chaleur de combustion des combustibles solides et liquides, tandis que celle des combustibles gazeux est rapportée le plus souvent à l'unité de volume, dans quelques cas aussi à l'unité de poids. La quantité de chaleur que l'unité de poids (1 kilogramme) d'un combustible dégage en brûlant, exprimée en unités de chaleur (Cal.), est désignée sous le nom d'*effet calorifique absolu*. La quantité de chaleur que dégage, en brûlant, l'unité de volume d'un combustible (1 mètre cube) en unités de chaleur (Cal.) est appelée l'*effet calorifique spécifique*.

#### *Détermination de la chaleur de combustion.*

La chaleur de combustion des combustibles ne peut être déterminée avec quelque exactitude que par voie expérimentale, à l'aide du calorimètre. Les autres méthodes proposées dans ce but sont inexactes; à ces méthodes appartiennent, le calcul d'après la composition élémentaire à l'aide de la formule de Dulong et le calcul d'après la quantité d'oxygène consommée lors de la combustion, d'après la méthode de BERTHIER.

#### *Détermination de la chaleur de combustion au moyen du calorimètre<sup>1</sup>.*

La détermination de la chaleur de combustion à l'aide du calorimètre est basée sur la détermination de l'élévation de température qu'éprouve un poids connu d'eau par la combustion d'un poids déterminé du combustible soumis à l'essai.

Le **calorimètre** consiste souvent en un vase cylindrique en tôle de cuivre, entouré d'une enveloppe isolante et qui est rempli d'eau jusqu'à un certain niveau. Dans ce vase, est placé un second vase, dans lequel est effectuée la combustion du combustible soumis à l'essai. Ce dernier vase, le vase à combustion, est pourvu d'un tube pour l'introduction d'air ou d'oxygène pur et d'un autre tube pour l'évacuation des gaz de la combustion. La chaleur dégagée lors de la combustion est transmise à l'eau contenue dans le vase extérieur par les parois métalliques du vase intérieur et du tube abducteur des produits de la combustion.

Si l'on connaît la quantité de l'eau, sa température avant et après la combustion, la température des produits gazeux de la combustion

<sup>1</sup> Voy. F. FISCHER, *Manuel pour l'essai des combustibles et le contrôle des appareils de chauffage*, édit. française par L. GAUTIER, p. 37. Ch. BÉRANGER, éditeur.

s'échappant du vase intérieur, et enfin la quantité de chaleur que ce dernier absorbe, on peut facilement calculer combien de kilogrammes d'eau ont été échauffés de 1° par 1 kilogramme de combustible, ou combien d'unités de chaleur ont été dégagées lors de la combustion du combustible.

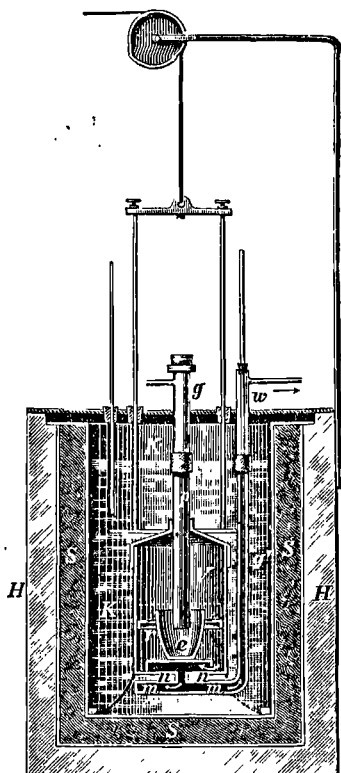


Fig. 1.  
Calorimètre de F. Fischer.

H est un récipient en bois, dans lequel se trouve le vase en cuivre argenté K. Ce dernier est isolé par une couche de laine de verre S. V est le vase à combustion, en argent, dans lequel se trouve un creuset de platine *e*, qui sert à recevoir le corps à brûler. L'air de combustion ou l'oxygène est amené à ce dernier par le tube de verre *g* et son prolongement en platine *p*. Du creuset en platine recouvert avec un tamis de même métal, les gaz de la combustion montent d'abord, puis se mêlent avec l'oxygène qui s'échappe par les ouvertures *o* du tube *p* et ils sont ainsi complètement brûlés ; traversant ensuite l'ouverture annulaire *r*, ils descendent le long des parois du creuset, puis pénètrent par l'orifice *n* dans l'espace *m* au-dessous du vase à combustion et de là, par le tube métallique *g'* et le tube de verre *w*, dans lequel se trouve un thermomètre, ils se rendent d'abord dans deux tubes à chlorure de calcium pour la détermination de l'eau, ensuite dans trois tubes à chaux sodée pour la déter-

Si l'on veut obtenir des résultats exacts, il faut déterminer aussi la quantité et la nature des gaz de la combustion, ainsi que la quantité de carbone et de l'hydrogène restés dans le résidu et tenir compte de la chaleur spécifique des produits de la combustion. Le rendement calorifique de l'oxyde de carbone des gaz de la combustion, de l'hydrogène contenu dans le gaz de la combustion et dans le résidu, ainsi que celui du carbone du résidu, doivent être ajoutés à la quantité de chaleur calculée d'après l'élévation de la température de l'eau.

Parmi les nombreux calorimètres usités pour la détermination de la chaleur de combustion : calorimètres de DULONG, de BOLLEY, de FAVRE et SILBERMANN, de SCHEURER-KESTNER, de THOMSEN-STOHMANN, de F. FISCHER, de BUNTE, de VÖLKNER, de SCHWACKHÖFER, de GOTTLIEB, de BERTHELOT, d'ALEXEJEW, de HEMPEL, de JUNKERS, nous ne décrirons dans les pages suivantes que le calorimètre de F. FISCHER, la bombe de BERTHELOT modifiée par HEMPEL et par MALHER, et le calorimètre de JUNKERS, qui est employé pour la détermination de la chaleur de combustion des gaz.

La disposition du calorimètre de F. FISCHER est mise en évidence par la figure 1.



mination de l'acide carbonique, puis pour la détermination des éléments

incomplètement brûlés dans un tube à oxyde de cuivre chauffé au rouge et enfin dans de nouveaux tubes à chlorure de calcium et à chaux sodée. Le calorimètre est muni, en vue de l'agitation de l'eau pendant la combustion, d'un dis-

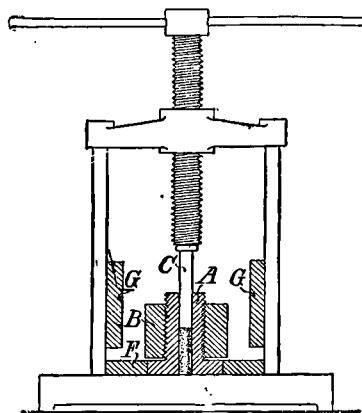


Fig. 2. — Appareil pour le moulage des échantillons des combustibles.

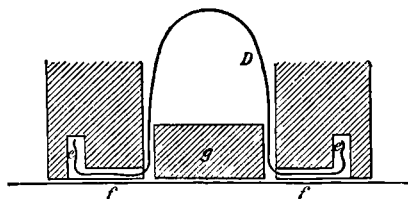


Fig. 3. — Disposition du fil conducteur dans les échantillons des combustibles.

positif formé de baguettes argentées et suspendu à des cordons de soie.

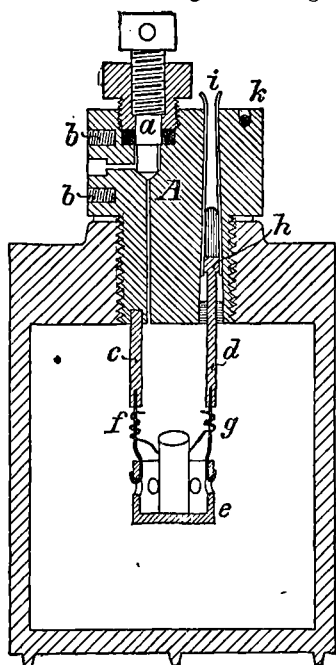


Fig. 4. — Bombe calorimétrique de Berthelot-Hempel.

La bombe calorimétrique de BERTHELOT<sup>1</sup>, simplifiée par W. HEMPEL<sup>2</sup>, est représentée avec ses accessoires par les figures 2 à 6. On s'en sert surtout pour la détermination de la chaleur de combustion des charbons. Le charbon à brûler est d'abord moulé à l'aide d'une presse en forme d'un petit cylindre creux. La presse (fig. 2) se compose de la vis A, perforée suivant sa longueur, dans laquelle peut être introduit le piston cylindrique C en acier trempé. La vis A peut être fixée solidement au moyen de l'écrou B. Avant d'introduire la poudre de charbon à comprimer dans

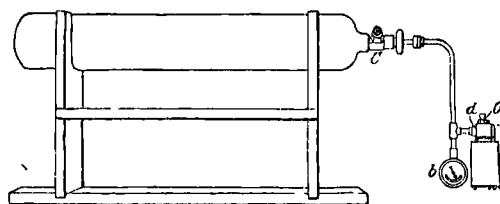


Fig. 5. — Vase à oxygène.

le moule, on place dans ce dernier, de la manière indiquée par la figure 3,

<sup>1</sup> *Comptes rendus*, t. CXV, p. 201.

<sup>2</sup> *Zeitschrift für angewandte Chemie*, 1892, p. 189.

un fil de platine destiné à l'allumage. Ce fil est fixé avec de la cire dans les trous *e* et les rigoles *f*, et courbé de façon à ce qu'il fasse une saillie en forme d'un demi-anneau à l'intérieur du moule. La poudre de charbon (1,5 gr.) est ensuite versée dans ce dernier et le piston est refoulé à l'aide de la presse à vis. On obtient ainsi un cylindre de charbon creux. Dans

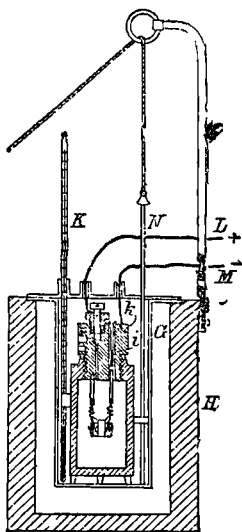


Fig. 6. — Calorimètre de Berthelot-Hempel.

ce dernier se trouve le fil de platine, dont les extrémités sortent en deux points différents. Le cylindre est retiré du moule et ensuite brûlé dans un vase en fer (autoclave).

Ce dernier (fig. 4) a une capacité de 250 cm<sup>3</sup> environ et il doit être essayé à une pression de 50 atmosphères. Il est fermé au moyen de la tête A. Celle-ci est munie d'une soupape à vis *a* et de deux trous *b, b*, pour visser le collet d'un tube (en vue du remplissage du vase avec de l'oxygène). Dans la partie inférieure de la tête, sont vissées deux tiges métalliques *c* et *d* destinées au passage du courant électrique, à l'aide duquel est effectué l'allumage de l'échantillon de combustible. La tige *d* est isolée au moyen d'un tube en caoutchouc *i*, qui monte au-dessus du renforcement *h* de la tige *d*. Dans les tiges *c* et *d* sont vissés des fils de platine *f* et *g*, auxquels est fixée une nacelle *e* en terre réfractaire. Lorsque le cylindre de charbon a été placé dans la nacelle, on met en communication conductrice les extrémités du fil de platine qu'il porte avec les fils de platine *f*

et *g*. Le vase est ensuite fermé, puis rempli d'oxygène. Dans ce but, on le relie à un cylindre contenant de l'oxygène, comme il est indiqué dans la figure 5. Cela fait, on dévisse d'un tour entier la soupape *a* de la bombe et l'on ouvre ensuite avec précaution la soupape *c* du cylindre à oxygène. Pour éliminer l'azote de la bombe, on ferme le cylindre dès que dans la première la pression a atteint 6 atmosphères, et on laisse l'oxygène sortir de la bombe; le gaz en s'échappant entraîne l'azote qui se trouvait dans celle-ci. On laisse ensuite pénétrer de nouveau de l'oxygène dans la bombe, jusqu'à ce que la pression soit montée à 12 atmosphères. Les soupapes sont ensuite fermées et la bombe est placée dans le calorimètre représenté par la figure 6.

Le calorimètre se compose, comme celui qui a été décrit précédemment, d'un récipient en bois H, dans lequel est suspendu un vase métallique G, et il contient 1 litre d'eau; il possède aussi un thermomètre, sur l'échelle duquel on peut évaluer jusqu'à un centième de degré, ainsi qu'un agitateur N, formé d'une tige et d'un anneau en fer, qui peut être mis en mouvement à l'aide d'un cordon passant dans un anneau suspendu à la tringle J. Au moyen des fils polaires L et M, qui plongent en *i* et *k* dans du mercure (fig. 4 et 6), l'appareil est mis en communication avec la source du courant. Dès que la température de l'eau du calorimètre demeure invariable, on ferme le circuit; le fil de platine contenu dans le cylindre de charbon est ainsi porté au rouge et celui-ci allumé. Dans l'oxygène pur, le charbon

est très rapidement brûlé et transformé en acide carbonique. Maintenant, en agitant sans interruption, on observe le thermomètre jusqu'à ce qu'il recommence à descendre. Avec la quantité de l'eau, sa température initiale et sa température finale, ainsi qu'avec la capacité calorifique de l'appareil tout entier, on détermine la chaleur de combustion du charbon essayé<sup>1</sup>.

[La bombe calorimétrique de P. MALHER, qui est en acier forgé, nickelé extérieurement et émaillé intérieurement, est fermée au moyen d'un bouchon à vis laissant passer deux fils de platine entourés d'un enduit isolant. L'un

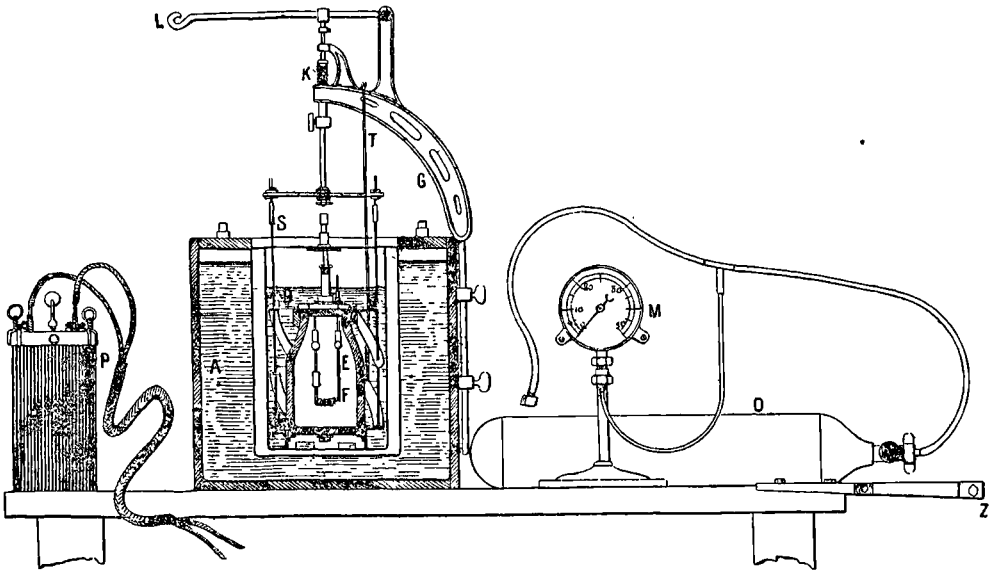


Fig. 7. — Appareil calorimétrique de Malher.

de ces fils supporte une capsule en platine et l'autre vient se terminer tout près du bord de la capsule, de façon qu'on puisse faire jaillir une étincelle entre les deux et allumer l'échantillon du charbon à essayer placé dans la capsule. On peut aussi pour l'allumage réunir les deux conducteurs au moyen d'une petite spirale en acier que le courant porte au rouge et brûle. La bombe de MALHER, placée dans le calorimètre, est représentée par la figure 7, dans laquelle : A est l'enveloppe isolatrice du calorimètre, B la bombe, F la capsule en platine contenant le combustible, E l'un des fils de platine communiquant avec la spirale en acier servant à l'allumage, D le calorimètre, S l'agitateur destiné à brasser l'eau contenue dans ce dernier, T le thermomètre indiquant la température de l'eau, O un réservoir à oxygène, M un manomètre et P une pile servant à produire l'électricité nécessaire pour l'allumage<sup>2</sup>.]

<sup>1</sup> Voy. F. FISCHER, *loc. cit.*, p. 41.

<sup>2</sup> Voy. pour la description détaillée et le mode d'emploi de l'appareil de MALHER : F. FISCHER, *loc. cit.*, p. 46, et P. MALHER, *Études sur les combustibles solides, liquides et gazeux*. Ch. BÉRANGER, éditeur.

La disposition du calorimètre de JUNKERS<sup>4</sup> est mise en évidence par les figures 8 et 9. Il se compose d'un compteur à gaz, d'un régulateur de pression et du calorimètre proprement dit. Ce dernier, qui est représenté par la figure 9, se compose lui-même : d'un tube cylindrique *a* entouré d'une enveloppe à double paroi ; des tubes abducteurs verticaux *b* établis dans l'espace annulaire fermé par l'enveloppe à double paroi et servant à l'évacuation des gaz brûlés ; de la chambre à fumée *c* ; du tube *d*, muni

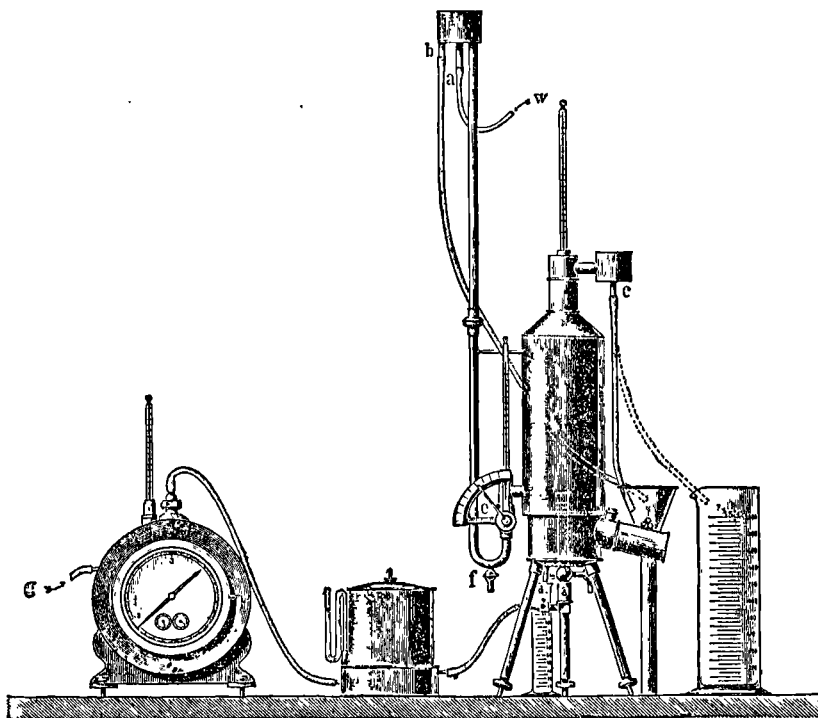


Fig. 8. — Appareil calorimétrique de Junkers.

d'une soupape, pour la sortie des gaz brûlés ; du tube *g* amenant de l'eau ; d'un tubes adapté sur le couvercle conique de l'instrument et par lequel l'eau est évacuée ; enfin, du tube *t* amenant le gaz à essayer.

L'espace entre les deux parois de l'enveloppe est rempli d'eau. Celle-ci est amenée par le tube *e* ; elle traverse d'abord le tamis épurateur *f*, passe dans le tube *g*, et par celui-ci arrive dans le calorimètre. L'afflux de l'eau est réglé par le robinet *i*. Elle monte entre les deux parois de l'enveloppe en entourant les tubes *b* et, mélangée par les plaques à fentes *m*, elle pénètre dans un tube latéral et ensuite dans un vase mesureur. Au moyen de thermomètres placés dans le tube d'entrée et dans le tube de sortie, on mesure la température au moment de son entrée et au moment de

<sup>4</sup> BECKERT, *Leitfaden der Eisenhüttenkunde*, t. I, p. 9 et 10.

sa sortie de l'appareil. Le gaz dont on doit déterminer la chaleur de combustion est brûlé dans le tube *a* au moyen d'un bec de Bunsen. Les gaz chauds de la combustion montent dans la partie supérieure de *a*, pénètrent dans les tubes *b* et les traversent de haut en bas, en abandonnant leur chaleur à l'eau entourant les tubes. De ces derniers, ils se rendent dans la chambre à fumée *c* et ensuite par le tube *d*, dans lequel leur température est mesurée au moyen du thermomètre *n*, ils s'échappent dans l'air. L'eau résultant de la combustion des gaz sort par le tube *o*, adapté au fond du calorimètre et est recueillie dans un vase mesureur.

Si l'on veut déterminer la chaleur de combustion d'un gaz, on remplit l'enveloppe à double paroi avec de l'eau et l'on allume le gaz. Ensuite, à l'aide du robinet *i*, on règle l'afflux de l'eau jusqu'à ce que la température de celle-ci, à son entrée dans l'appareil, ne varie plus. La sortie des gaz de la combustion est réglée à l'aide de la soupape *d*, jusqu'à ce que ceux-ci aient pris la température de l'air extérieur. On détermine ensuite à l'aide du compteur la quantité de gaz consommé, ainsi que sa température à l'aide du thermomètre dont le compteur est muni, et enfin sa pression au moyen d'un baromètre. La quantité du gaz est ramenée à 0° et 760 mm. de pression. A l'aide des thermomètres dont le calorimètre est muni, on détermine la température de l'eau à son entrée et à sa sortie. Les vases mesureurs indiquent la quantité de l'eau écoulée. Avec cette quantité et l'élévation de température de l'eau écoulée, ainsi qu'avec la quantité de chaleur que l'eau condensée a enlevée aux produits de la combustion, on peut calculer la chaleur de combustion du gaz essayé.

[La chaleur de combustion des gaz peut également être déterminée à l'aide de la bombe de MALHER<sup>1</sup>.]

Nous indiquons dans ce qui suit les résultats de la détermination au

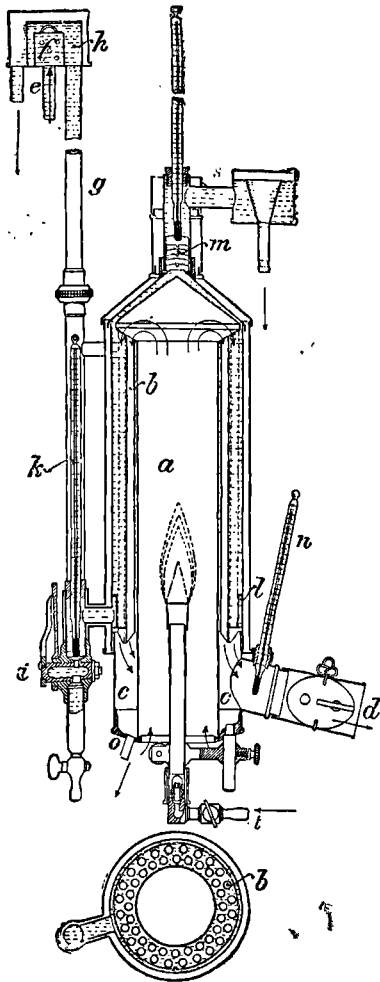


Fig. 9. — Appareil calorimétrique de Junkers: calorimètre proprement dit.

<sup>1</sup> Voy. F. FISCHER, *loc. cit.*, p. 92, et P. MALHER, *loc. cit.*, p. 16.

moyen du calorimètre des chaleurs de combustion d'une série de corps importants au point de vue de la production de la chaleur pour l'extraction des métaux. Les chaleurs de combustion sont rapportées pour les gaz à un kilogramme (effet calorifique absolu), ainsi qu'à un mètre cube (effet calorifique spécifique).

Un kilogramme de charbon dégage en brûlant :

A l'état d'oxyde de carbone . . . . .	= 2 387 Cal.
— d'acide carbonique. . . . .	= 8 080 —

D'après les recherches de FAVRE et SILBERMANN, la chaleur de combustion du carbone est soumise à des variations suivant l'état moléculaire de ce dernier. Ainsi, dans la combustion à l'état d'acide carbonique elle oscille entre 7 770 et 8 080 Cal. Elle s'élève pour :

Le diamant . . . . .	à 7 770 Cal.
Le graphite . . . . .	à 7 797 —
Le graphite de cornue . . . . .	à 8 047 —
Le charbon de bois . . . . .	à 8 080 —

Malgré ces variations, on admet que la chaleur de combustion du carbone brûlant en se transformant en acide carbonique est égale à 8 080 Cal.

Un kilogramme d'*oxyde de carbone* dégage en passant par combustion à l'état d'oxyde de carbone 2 240 Cal. ; 1 mètre cube d'oxyde de carbone = 3 063 Cal.

Un kilogramme d'*hydrogène* dégage lors de sa combustion à l'état de vapeur d'eau 29 140 Cal. et lorsqu'il brûle à l'état d'eau liquide 34 600 Cal., 1 mètre cube d'hydrogène dégage dans le premier cas 2 620 Cal., dans le second 3 110 Cal.

Parmi les hydrocarbures, le méthane, l'éthylène, le propylène et le benzène dégagent les quantités de chaleur suivantes, lors de leur combustion à l'état de vapeur d'eau (rapportée à la température de 0°) et d'acide carbonique :

1 kg. de méthane . . . . .	= 11 986 Cal.
1 m <sup>3</sup> — . . . . .	= 8 600 —
1 kg. d'éthylène . . . . .	= 11 295 —
1 m <sup>3</sup> — . . . . .	= 14 195 —
1 kg. de propylène . . . . .	= 11 155 —
1 m <sup>3</sup> — . . . . .	= 20 970 —
1 kg. de benzène . . . . .	= 9 710 —
1 m <sup>3</sup> — . . . . .	= 29 495 —

Lors de la combustion de ces mêmes corps à l'état d'eau liquide et d'acide carbonique, les quantités de chaleur dégagées sont les suivantes :

1 kg. de méthane . . . . .	= 13 345 Cal.
1 m <sup>3</sup> — . . . . .	= 9 580 —
1 kg. d'éthylène. . . . .	= 12 075 —
1 m <sup>3</sup> — . . . . .	= 15 165 —

1 kg. de propylène . . . . .	= 11 935 Cal.
1 m <sup>3</sup> — . . . . .	= 22 410 —
1 kg. de benzène . . . . .	= 10 130 —
1 m <sup>3</sup> — . . . . .	= 30 775 —

En outre :

1 kg. d'aluminium en brûlant à l'état de Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	dégage	7 090	Cal.
1 kg. de fer — — de FeO	—	1 353	—
1 kg. — — de Fe <sup>3</sup> O <sup>4</sup>	—	1 644	—
1 kg. — — de Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	—	1 796	—
1 kg. de plomb — — de PbO	—	243	—
1 kg. de cuivre — — de Cu <sup>2</sup> O	—	321	—
1 kg. — — de CuO	—	585	—
1 kg. de manganèse — — de MnO	—	1 724	—
1 kg. — — de MnO <sup>2</sup>	—	2 115	—
1 kg. de phosphore — — de P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	—	5 965	—
1 kg. de soufre — — de SO <sup>2</sup>	—	2 221	—
1 kg. de silicium — — de SiO <sup>2</sup>	—	7 830	—
1 kg. de zinc — — de ZnO	—	1 314	—
1 kg. d'étain — — de SnO <sup>2</sup>	—	1 147	—
1 kg. de pyrite — — de Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	—	2 253	—
1 kg. de blende (ZnS) — — de ZnO	—	1 729	—

*Calcul de la chaleur de combustion d'après la composition élémentaire des combustibles.*

Ce mode de détermination de la chaleur de combustion repose sur cette hypothèse, que la chaleur de combustion d'un corps composé est égale à la somme des chaleurs de combustion de ses éléments. Si, par conséquent, on a déterminé par l'analyse les éléments du corps en question, il suffit, pour connaître sa chaleur de combustion, de multiplier les quantités trouvées des éléments par leurs chaleurs de combustion et d'additionner les produits.

Si l'hydrogène et l'oxygène ne se trouvent pas à l'état libre dans le combustible, on calcule la quantité d'hydrogène qui est nécessaire pour former de l'eau avec l'oxygène, on la retranche de la quantité totale de l'hydrogène et on ne multiplie que le reste d'hydrogène par la chaleur de combustion de ce dernier. Dulong a indiqué la formule suivante pour la détermination de l'effet calorique absolu des combustibles qui, outre l'hydrogène et le carbone, contiennent de l'oxygène :

$$A = 29\,140 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 8\,080 C.$$

Dans cette formule :

- A est la chaleur de combustion cherchée ;
- H la quantité d'hydrogène trouvée p. 100 ;
- O — d'oxygène — —
- C — de carbone — —
- 29 140 la chaleur de combustion de 1 kg. d'hydrogène ;
- 8 080 — — — de carbone.

$H - \frac{O}{8}$  est l'excès de l'hydrogène total sur la quantité de l'hydrogène combiné à l'oxygène. Comme on le voit, les quantités en poids d'hydrogène et d'oxygène nécessaires pour former de l'eau sont entre elles comme 16 : 2. Par conséquent, la quantité d'hydrogène qu'exige une quantité déterminée d'oxygène pour former de l'eau est égale à cette quantité d'oxygène divisée par 8, par conséquent à  $\frac{O}{8}$ . L'hydrogène libre est donc égal, si H indique sa quantité totale dans le combustible à  $H - \frac{O}{8}$ .

Si l'on tient compte de la chaleur nécessaire pour la vaporisation de l'eau, la formule se présente alors comme il suit :

$$A = 29\,140 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 8\,080 C - 637 W.$$

Dans cette formule, W est la quantité p. 100 de l'eau contenue dans le combustible.

Si l'on veut également tenir compte du soufre renfermé dans le combustible (par exemple, dans les houilles et le coke), on a alors la formule :

$$A = 29\,140 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 8\,080 C + 2220 S - 637 W.$$

Ici S indique le poids p. 100 du soufre contenu dans le combustible et 2220 sa chaleur de combustion.

Dans la formule de Dulong, il n'est tenu compte ni de la chaleur qui est consommée pendant la combustion pour la décomposition des combinaisons chimiques, ni de celle qui est nécessaire pour la gazéification du carbone et de l'hydrogène.

La chaleur de gazéification du carbone est très élevée, comme le montre une comparaison des chaleurs de combustion du carbone solide et du carbone contenu à l'état gazeux dans l'oxyde de carbone. Une molécule de carbone solide ( $C^s$ ) dégage lors de sa combustion avec une molécule d'oxygène ( $O^2$ ), en se transformant en oxyde de carbone ( $2CO$ ), 57 920 cal. (calories-gramme), tandis qu'une molécule de carbone gazeux contenue dans l'oxyde de carbone ( $2CO$ ) dégage, lors de sa combustion avec une molécule d'oxygène ( $O^2$ ), en se transformant en acide carbonique ( $2CO^2$ ), 136 640 cal.

La différence entre ces deux valeurs 136 640 — 57 920 cal. = 72 720 cal. est la quantité de chaleur qui a été consommée pour la gazéification du carbone solide. Cette chaleur de gazéification ou de vaporisation du carbone, rapportée à 1 kilogramme de carbone, s'élève à 3 306 Cal. (grandes calories).

Si, par conséquent, le carbone existait libre à l'état gazeux, 1 kilogramme dégagerait lors de la combustion en oxyde de carbone :

$$2387 + 3\,306 = 5\,693 \text{ Cal.}$$

et lors de la combustion en acide carbonique :

$$8080 + 3\,306 = 11\,386 \text{ Cal.}$$



Bien que la détermination de la chaleur de combustion à l'aide de la formule de DULONG fournisse des résultats beaucoup plus inexacts que celle qui est effectuée au moyen du calorimètre, elle est cependant encore employée pour la détermination préliminaire de la chaleur de combustion des combustibles.

*Détermination de la chaleur de combustion d'après la quantité d'oxygène consommée lors de la combustion, suivant la méthode de Berthier.*

Cette méthode repose sur la loi de WELTER, d'après laquelle : *les quantités de chaleur, que dégagent en brûlant les différents combustibles, sont exactement proportionnelles aux quantités d'oxygène qu'absorbent les combustibles lors de la combustion.*

Si, donc, on détermine la quantité d'oxygène que le combustible à essayer consomme lors de la combustion complète (du carbone en acide carbonique, de l'hydrogène en eau) et si ensuite on compare cette quantité avec la quantité d'oxygène que consomme en brûlant un combustible, dont la chaleur de combustion est connue, le carbone, par exemple, on peut par un calcul simple déterminer la chaleur de combustion du combustible à essayer.

BERTHIER détermine l'oxygène par chauffage du combustible soumis à l'essai avec de l'oxyde de plomb, qui brûle complètement le combustible avec séparation de plomb. La quantité du plomb séparé fait connaître la quantité d'oxygène consommée. 1 gramme de plomb séparé correspond à 235 Cal.

Le combustible à essayer est réduit en poudre fine, puis mélangé avec 30-40 fois son poids de litharge et introduit dans un creuset réfractaire ; il est ensuite recouvert d'une couche de litharge et chauffé. Le plomb réduit de l'oxyde de plomb se rassemble en un régule au fond du creuset et il est pesé après refroidissement.

Mais la loi de WELTER n'est pas exacte. WELTER admettait que les chaleurs de combustion de l'hydrogène et du carbone étaient égales, d'après les déterminations de DESPRETZ, à 23 600 et 7 800 Cal., de sorte qu'elles étaient à peu près comme 3 : 1 et que par conséquent il en était de même pour la quantité d'oxygène que l'hydrogène et le carbone exigent pour leur combustion en eau et en acide carbonique (1 partie en poids d'hydrogène consomme 8 parties en poids d'oxygène pour sa combustion en eau, 1 partie en poids de carbone 2,6 parties en poids d'oxygène pour sa combustion en acide carbonique), et il avait basé sa loi sur ces indications.

Les nouvelles recherches calorimétriques ayant montré que la chaleur de combustion de l'hydrogène n'est pas à celle du carbone comme 3 : 1, mais comme 4 : 1, la loi de WELTER perdit toute sa valeur. En outre, WELTER n'avait pas tenu compte des quantités de chaleur qui sont nécessaires pour le changement d'état d'agrégation du combustible et pour la décomposition des combinaisons chimiques qui y sont renfermées. La loi ne convient donc que pour les combustibles gazeiformes, dont la combustion n'est pas accompagnée d'une décomposition de combinai-

sons chimiques (H, CO), mais non pour les combustibles solides et liquides.

La méthode de BERTHIER, appliquée à l'essai de combustibles solides, ne peut donc pas donner de résultats exacts, puisque pour les raisons qui viennent d'être expliquées les nombres obtenus doivent être trop bas. Cette méthode, à cause de la commodité de sa mise en pratique et de la rapidité avec laquelle elle permet d'effectuer l'essai, est cependant, malgré ses défauts, fréquemment employée pour l'essai de différentes sortes d'un seul et même combustible.

JÜPTNER<sup>1</sup> détermine la chaleur de combustion d'après la manière dont se comportent les combustibles à la distillation sèche, ainsi que d'après la quantité d'oxygène qui est nécessaire pour leur combustion complète. Le combustible en poudre fine est, après détermination préalable de sa teneur en humidité, chauffé dans un creuset de platine couvert, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de gaz combustibles. La perte de poids fait connaître le rendement en gaz (G). Le résidu (P) est maintenant complètement incinéré dans le creuset ouvert. On obtient ainsi la teneur en cendre (A) et la teneur en carbone fixe ou carbone de coke (K). La teneur en oxygène est déterminée d'après la méthode de BERTHIER. v. JÜPTNER a établi pour le calcul de la chaleur de combustion la formule suivante :

$$p = 76,30 K + C \cdot \frac{S^{11}}{100},$$

dans laquelle p est la chaleur de combustion, K le poids du carbone de coke, S<sup>11</sup> la quantité d'oxygène nécessaire pour la combustion complète des produits gazeux de la distillation, et C un coefficient, qui varie suivant l'espèce du combustible et suivant le rapport entre la quantité d'oxygène nécessaire pour la combustion des substances volatiles (S<sup>11</sup>) et celle qui est nécessaire pour la combustion du résidu de coke (S<sup>1</sup>) =  $\frac{S^{11}}{S^1}$ . La valeur de ce coefficient a été calculée par v. JÜPTNER pour les différents combustibles.

On obtient avec la méthode de v. JÜPTNER des résultats plus exacts que d'après la méthode de BERTHIER proprement dite.

#### Température de combustion.

Sous le nom de **température de combustion** ou d'**effet calorifique pyrométrique** ou d'intensité de chaleur, on désigne le *degré de température* qu'un combustible, brûlant à une température initiale de 0° et sous une pression barométrique de 760 millimètres, est en état de développer. Ce degré de température est mesuré *en degrés Celsius* ou *centigrades*, *d'après la dilatation du mercure*.

Comme on l'a déjà dit, la température de combustion est limitée supérieurement par la dissociation des produits de la combustion.

<sup>1</sup> AURENS, *Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge*. t. II. Stuttgart, 1898.

La température de combustion d'un combustible peut être déterminée aussi bien par voie théorique par le calcul, que par voie empirique par mesure à l'aide de pyromètres. Mais ni l'une ni l'autre de ces méthodes ne donne des résultats satisfaisants.

*Détermination de la température de combustion par le calcul.*

La détermination de la température de combustion *par le calcul* repose sur cette hypothèse inexacte que toute la chaleur que dégage un corps en brûlant est absorbée par les produits de sa combustion. D'après cela, la température de combustion ne dépend pas seulement de la quantité de chaleur dégagée, mais encore de la quantité des produits de la combustion et de la chaleur spécifique de ceux-ci. Plus est grande la chaleur spécifique des produits de la combustion, plus est faible leur élévation de température.

Si l'on désigne par  $W$  l'effet calorifique absolu d'un combustible, par exemple, du carbone, par  $q$  la quantité du produit de la combustion, par  $s$  la chaleur spécifique de ce dernier et par  $T$  la température de combustion cherchée, on a :

$$W = T (q \cdot s),$$

d'où

$$T = \frac{W}{q \cdot s},$$

c'est-à-dire que la température de combustion d'un combustible simple est égale à son effet calorifique absolu, divisé par le poids du produit de la combustion multiplié par la chaleur spécifique de ce dernier.

Si le combustible est un corps composé, on obtient différents produits de combustion. Si l'on désigne les quantités en poids de ces derniers par  $q, q^1, q^2, q^3, q^4$ , etc., la chaleur de combustion est :

$$T = \frac{W}{qs + q^1s^1 + q^2s^2 + q^3s^3 + q^4s^4 + \dots}$$

c'est-à-dire que la température de combustion d'un combustible composé est égale à l'effet calorifique absolu de ce dernier, divisé par la somme des quantités en poids des produits de la combustion, chacune de ces quantités étant multipliée par la chaleur spécifique du produit de combustion correspondant. Dans la combustion par l'air, l'azote compte aussi comme produit de combustion.

Dans ces formules, on admet que la chaleur spécifique (c'est-à-dire la quantité de chaleur qui est nécessaire pour échauffer l'unité de poids d'un corps de 1°) des produits de la combustion reste la même à toutes les températures. Mais il n'en est pas ainsi. Il faut donc tenir compte du changement de la chaleur spécifique des différents produits de combustion avec la température et introduire dans les formules, au lieu de  $s$ , la valeur moyenne correspondant aux différentes températures. Mais, même après l'introduction de cette valeur moyenne dans les formules, nous ne pouvons pas indiquer exactement la température de combustion,

parce qu'une partie de la chaleur dégagée, que nous ne connaissons pas, n'est pas absorbée par les produits de la combustion, mais par l'entourage du corps en combustion, par suite de la conduction et de la radiation, et en outre parce qu'il n'est pas tenu compte de la dissociation des produits de la combustion aux hautes températures. Les formules donneront par suite toujours des valeurs trop élevées pour les températures de combustion. On obtient ainsi comme température de combustion pour le carbone, brûlant en acide carbonique dans l'oxygène pur, 10 200°, dans l'air, 2730°, pour l'hydrogène brûlant en vapeur d'eau dans l'oxygène, 6 670°, dans l'air, 2 665°, tandis que, en réalité, on ne devrait pas obtenir par la combustion des températures supérieures à 2 000°. La dissociation de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau est aussi complète à des températures beaucoup plus basses que 10 200° ou 6 670°.

Néanmoins, les formules précédentes nous indiquent les principes sur lesquels nous devons nous appuyer pour l'obtention de hautes températures de combustion. Il faut aussi considérer que l'air nécessaire pour la combustion, autant que son oxygène, n'est pas passé dans les produits de la combustion, doit être considéré comme produit de combustion.

Si dans la formule :

$$T = \frac{W}{s \cdot q},$$

établie précédemment,  $T$ , la température de combustion, doit être aussi élevée que possible,  $W$  doit être aussi grand que possible et  $s$  et  $q$  aussi petits que possible, c'est-à-dire que l'on obtient les plus hautes températures de combustion en brûlant des combustibles, qui fournissent lors de la combustion une quantité de chaleur aussi grande que possible et des quantités aussi faibles que possible de produits de combustion avec une chaleur spécifique aussi faible que possible.

*On obtient donc une température de combustion aussi haute que possible par combustion complète des combustibles, par réchauffage des combustibles et de l'air de combustion, par la diminution aussi grande que possible de la quantité des produits de la combustion, par suite de l'emploi d'un excès d'air aussi faible que possible lors de la combustion, par l'emploi de combustibles exempts de cendre et d'eau et d'air de combustion pauvre en eau.*

*Pour obtenir une combustion complète, le charbon doit être brûlé à l'état d'acide carbonique, ce qui, comme on l'a expliqué, produit une quantité beaucoup plus grande de calories.*

*Par le réchauffage des combustibles et de l'air de combustion, on augmente la quantité de chaleur, sans accroître la quantité des produits de la combustion. Dans la formule, on grossit donc  $W$ , sans accroître aussi en même temps le dénominateur  $s \cdot q$ .  $T$  doit par suite beaucoup augmenter. Ce réchauffage est pour le métallurgiste le meilleur moyen à employer pour la production de hautes températures.*

*L'afflux de l'air, lors de la combustion, doit être réglé de façon que l'excès d'air, lors de l'emploi de combustibles gazeux, ne s'élève pas à plus de 10 p. 100 de la quantité théoriquement nécessaire, et ne dépasse pas pour les autres combustibles 100 p. 100 de cette même quantité. Si*

dans l'espace où a lieu la combustion la température est élevée, il faut pour la combustion moins d'air qu'avec une basse température dans cet espace. On obtient cette élévation de température par le réchauffage de l'air et du combustible déjà mentionné plus haut.

*Le réchauffage agit par suite de deux façons, pour favoriser l'élévation de la température de combustion : en augmentant la quantité de la chaleur pour accroître en même temps la quantité des produits de la combustion et en diminuant la quantité de l'air nécessaire pour la combustion, ce qui amène une diminution de la quantité des produits de la combustion, c'est-à-dire une augmentation de la température de combustion.*

On obtiendrait des températures de combustion beaucoup plus hautes, si on pouvait, au lieu d'air, employer lors de la combustion de l'oxygène pur. Mais jusqu'à présent il n'a pas pu en être ainsi, parce qu'on ne peut pas séparer l'azote de l'air et que la préparation de l'oxygène avec d'autres corps oxygénés est trop coûteuse.

*L'air humide et les combustibles contenant de l'eau doivent être évités autant que possible, parce que l'eau qu'ils renferment augmente non seulement la quantité des produits de la combustion, mais encore abaisse considérablement, à cause de sa chaleur spécifique élevée (qui est égale à 0,4805 aux températures comprises entre 128 et 217°), la température de combustion. On ne peut pas, par suite, avec des combustibles contenant de l'eau, obtenir de hautes températures.*

La cendre, qui doit aussi être mise au nombre des produits de la combustion, a une chaleur spécifique de 0,20-0,25 et absorbe par suite aussi de grandes quantités de chaleur. *C'est pourquoi on obtient, les conditions étant d'ailleurs les mêmes, de plus hautes températures avec des combustibles pauvres en cendre, qu'avec des combustibles qui en renferment beaucoup.*

Dans le tableau suivant sont indiquées, rapportées à un poids égal d'eau, les chaleurs spécifiques sous pression constante des corps particulièrement importants pour le métallurgiste.

	CHALEURS SPÉCIFIQUES	ENTRE les températures de :
Air atmosphérique . . . . .	0,2375	0 et 200°
Oxygène . . . . .	0,2175	13 » 207
Azote. . . . .	0,2438	0 » 200
Hydrogène . . . . .	3,4090	12 » 198
Méthane . . . . .	0,5930	18 » 208
Oxyde de carbone. . . . .	0,2425	24 » 100
Ethylène . . . . .	0,3880	23 » 99
Acide carbonique . . . . .	0,2169	11 » 214
Acide sulfureux. . . . .	0,1514	16 » 202
Charbon de bois . . . . .	0,1653	0 » 24
Graphite . . . . .	0,3550	0
Houille. . . . .	0,2010	—
Coke . . . . .	0,2030	—
Cendre, scorie . . . . .	0,2150	—

*Détermination de la température de combustion par mesure.*

Tandis que la détermination des basses températures peut être effectuée sûrement et sans difficulté, on n'est pas encore parvenu jusqu'ici à déterminer exactement les hautes températures. Jusqu'à 300°, les températures peuvent être déterminées à l'aide du thermomètre à mercure. Mais, comme le point d'ébullition du mercure est à 360°, cet instrument n'est applicable pour la mesure de plus hauts degrés que lorsqu'il l'a reçu une disposition particulière et alors il peut servir jusqu'à 550°. C'est pour cela qu'il a été imaginé de nombreux appareils thermométriques pour les hautes températures, qui sont désignés sous le nom de *pyromètres* et dont la construction repose sur les phénomènes naturels les plus différents. Mais aucun de ces pyromètres n'indique les hautes températures avec une exactitude absolue ou au moins aussi grande qu'on peut le désirer. De ces nombreux instruments, nous ne mentionnerons que ceux qui offrent une importance particulière.

On a cherché à effectuer la mensuration des hautes températures au moyen :

1. *Des changements de dimensions de corps solides.*
2. *De la dilatation de liquides.*
3. *De la dilatation de gaz.*
4. *Du changement de la tension de la vapeur de certains corps avec les variations de la température.*
5. *Du point de fusion de corps solides.*
6. *De la dissociation de certains corps.*
7. *De phénomènes optiques et acoustiques.*
8. *De l'électricité.*
9. *De la transmission à des liquides de la chaleur de combustion dégagée.*

*Pyromètres basés sur les changements des dimensions de corps solides.*

Le plus ancien mode de détermination des hautes températures est basé sur la *diminution de volume* de corps solides sous l'influence de la chaleur. Il a été indiqué par WEDGEWOOD en 1782 et il consistait à déterminer le retrait de morceaux d'argile, qui offraient la forme de cubes, de cônes ou de cylindres et étaient exposés à la température à mesurer. Mais à cause du défaut d'uniformité de la diminution de volume de l'argile sous l'influence de la chaleur, cette *méthode de mesure* s'est montrée inapplicable.

Les *nouvelles méthodes de mesures* basées sur les changements de dimensions des corps solides reposent sur la *dilatation de ces corps par la chaleur*.

Mais on ne peut pas non plus à l'aide de ce principe effectuer des mesures exactes, parce que les corps solides employés pour cela éprouvent un changement dans leur structure et ne reprennent pas par

suite, après le refroidissement, leurs dimensions primitives. Les instruments en question donnent pour cette raison, à chaque fois que l'on s'en sert, des indications différentes.

Dans les nouveaux instruments, on a cherché à déterminer la température, non pas d'après la dilatation d'un seul corps solide, mais d'après la différence de la dilatation de deux corps solides. Comme corps solides, on se sert soit de deux métaux, soit d'un métal et d'un corps non métallique, le graphite. On nomme les pyromètres qui reposent sur la différence de la dilatation de métaux différents, **pyromètres métalliques**, et l'on appelle **pyromètres à graphite** ceux qui sont basés sur la dilatation de métaux et de graphite.

Parmi les **pyromètres métalliques**, nous mentionnerons les *pyromètres* de GAUNTLETT, de OECHSLE, de TREMESCHINI, de ZABEL, de SCHÄFFER et BUDENBERG ; parmi les **pyromètres à graphite** ceux de STEINLE et HARTUNG, de ZABEL et de TRAMPLER.

Le pyromètre de GAUNTLETT est basé sur la différence de la dilatation de baguettes ou de tubes de cuivre et de fer doux, celui d'OECHSLE sur la différence de la dilatation de baguettes ou de tubes en laiton et en fer doux, celui de SCHÄFFER et BUDENBERG sur la dilatation de spirales des mêmes métaux, qui se déroulent ou s'enroulent sous l'influence des changements de température.

Le pyromètre de GAUNTLETT est le plus fréquemment employé. Il se compose soit d'une baguette de cuivre et de trois baguettes de fer entourant celle-ci, soit d'un tube de cuivre placé dans un tube de fer.

L'une des extrémités des baguettes ou du tube de fer est fixée à demeure sur l'une des extrémités de la baguette ou du tube de cuivre, tandis que leur autre extrémité porte une boîte avec cadrature. L'autre extrémité de la baguette ou du tube de cuivre peut agir sur cette cadrature au moyen d'un levier et d'une roue dentée, de sorte que le mouvement de la baguette ou du tube de cuivre (contre les baguettes ou le tube de fer) peut être transmis à une aiguille se mouvant sur une échelle. Si maintenant on chauffe le pyromètre, l'extrémité supérieure de la baguette de cuivre se dilate et transmet, amplifiée, à l'aiguille, la dilatation.

La figure 10 représente la disposition d'un pyromètre de GAUNTLETT, formé d'un tube de cuivre et d'un tube de fer ; *a* est le tube de cuivre, *b* le tube de fer. A leur extrémité inférieure, les deux tubes sont reliés l'un à l'autre au moyen de la capsule *c*.

Le tube en fer (en fer doux) porte la boîte G avec cadrature. Le tube de cuivre est surmonté d'un chapiteau *d*, qui au moyen de la tige *s* est relié à la pièce *e*, reliée elle-même à l'aide d'un boulon à un segment denté *f*. Celui-ci s'engrène avec un pignon *g*, sur l'axe duquel est fixée l'aiguille *h*. Comme maintenant, lorsque l'appareil est soumis à l'action de la chaleur, le tube de cuivre se dilate plus que le tube de fer, il fait remonter le chapiteau *d*, c'est-à-dire la tige *s* fixée à ce dernier ; *s* agit alors par l'intermédiaire de *e* sur le segment denté et par celui-ci sur le pignon et l'aiguille *h*.

Le pyromètre métallique de OECHSLE est disposé d'une façon analogue, le tube de cuivre étant simplement remplacé par un tube en laiton.

[Le pyromètre de TREMESCHINI est basé sur la dilatation d'une lame mince

de platine, qu'échauffe par rayonnement une masse métallique, préalablement exposée dans le milieu dont on veut déterminer la température. Cet appareil indique, en degrés centigrades, la différence de température qui existe entre le milieu considéré et celui où se trouve placé l'opérateur, de sorte que, pour avoir la température absolue, il faut ajouter aux indications de l'appareil le nombre de degrés de la température où se trouve placé le cadran du pyromètre <sup>4</sup>.]

Dans les pyromètres à graphite, le cuivre ou le laiton est remplacé par une *baguette de graphite*, qui par l'intermédiaire d'un tube agit sur une cadrature.

[Le pyromètre à graphite de TRAMPLER, par exemple (fig. 11), se compose d'un tube en fer C, dans lequel est placée une baguette de graphite D,

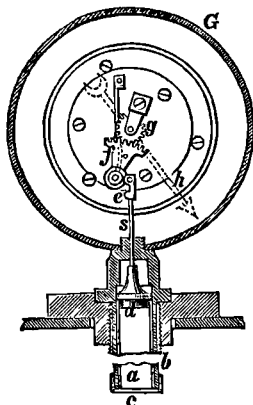


Fig. 10. — Pyromètre de Gauntlett.

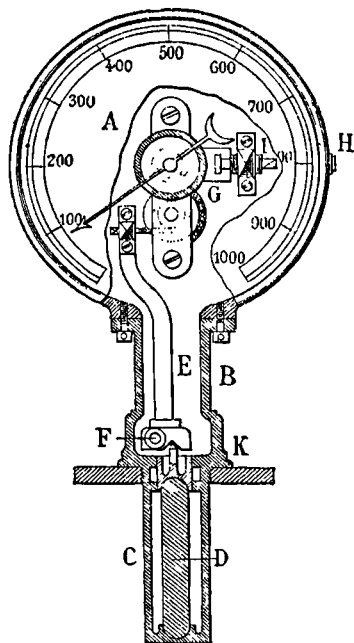


Fig. 11. — Pyromètre à graphite de Trampler.

ferme et poreuse. Lorsque le tube C s'allonge, par suite de sa dilatation, la baguette de graphite s'abaisse par rapport au tube ; dans ce mouvement relatif, il est guidé par la tête en métal qui le termine et qui est mobile dans le collet K formant glissière. La tête de la baguette D porte un couteau, sur lequel repose un levier coudé E, qui peut osciller autour de l'axe F. Ce levier est maintenu appliqué sur le couteau par un ressort fixé dans la boîte A, mais non visible dans la figure ; il suit ainsi exactement les mouvements du graphite. Une fine chaîne en nickel, attachée au bout supérieur du long bras du levier E, fait tourner un arbre auxiliaire à l'aide d'une petite poulie, sur laquelle elle s'enroule. Une poulie plus grande calée sur le même arbre reçoit une seconde chaîne en nickel enroulée en S et qui s'attache sur une poulie portée par l'arbre de l'aiguille indicatrice. La dilatation relative est ainsi amplifiée considérablement.

<sup>4</sup> Voy. *Portefeuille économique des machines*, 3<sup>e</sup> série, t. IX, col. 62, 1884.



Cet appareil convient pour suivre commodément les variations de la marche d'un four, dans lequel on l'a installé à poste fixe, plutôt que pour comparer la température de deux milieux différents ou pour obtenir une mesure absolue de la température dans une enceinte déterminée.]

Tous ces pyromètres n'ont été employés que pendant un certain temps.

*Pyromètres basés sur la dilatation de liquides.*

Le **thermomètre à mercure** est basé sur ce principe. Comme on le sait, les températures allant jusqu'à 200° peuvent être déterminées très exactement par la dilatation du mercure. Mais dès que ce métal a atteint son point d'ébullition (360°), il augmente subitement de volume, de sorte que la mesure devient incertaine. Pour empêcher aux hautes températures la distillation du mercure dans la partie supérieure du thermomètre, on a remplacé le vide de cette partie par un remplissage d'azote ou d'acide carbonique. Avec des thermomètres, dont l'espace au-dessus du mercure est rempli d'azote, on peut mesurer avec quelque certitude des températures allant jusqu'à 450°.

Les thermomètres à mercure en verre borosilicaté d'Iéna 59 III, avec remplissage d'acide carbonique liquide au-dessus du mercure, permettraient encore des mesures jusqu'à 550°, d'après A. MAHLKE<sup>1</sup>.

*Pyromètres reposant sur la dilatation de gaz.*

Le **pyromètre à air** est basé sur la dilatation de corps gazéiformes. C'est le plus sûr de tous les pyromètres et il est considéré comme thermomètre normal pour les hautes températures. C'est pourquoi il sert aussi pour le contrôle des mesures avec d'autres pyromètres.

Comme on le sait, d'après la découverte de GAY-LUSSAC, les corps gazéiformes se dilatent uniformément à mesure que s'élève la température, mais la dilatation dépend non seulement de la température, mais encore de la pression.

Si nous désignons par  $t$  le degré de la température, par  $v^0$  le volume de l'air à 0°, par  $v$  le volume à  $t^0$ , par  $p^0$  la pression s'exerçant sur l'air à 0°, par  $p$  cette même pression à  $t^0$ , par  $\alpha$  le coefficient de dilatation de l'air, nous avons l'équation :

$$\frac{v}{v^0 (1 + \alpha t)} = \frac{p^0}{p}.$$

Si nous admettons que la pression ne change pas avec la température, reste par conséquent constante, alors  $p^0 = p$  et nous avons :

$$t = \frac{\frac{v}{v^0} - 1}{\alpha}.$$

<sup>1</sup> *Zeitschrift für Instrumentenkunde*, 1892, p. 401.

Si nous supposons que le volume de l'air soit maintenu égal par l'élévation de la pression, à mesure que la température augmente, nous posons alors  $v = v^0$  et nous avons :

$$t = \frac{\frac{p}{p^0} - 1}{\alpha} .$$

On peut donc, d'après cela, déterminer la température aussi bien d'après l'augmentation de volume de l'air, la pression restant invariable, que par l'augmentation de la pression de l'air, le volume restant le même.

Le dernier mode de détermination, qui a été indiqué par REGNAULT, est celui que l'on emploie ordinairement.

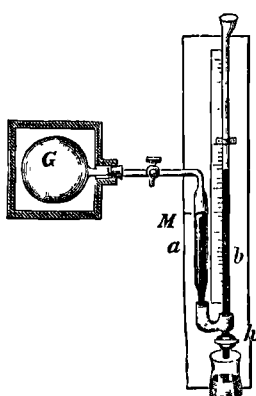


Fig. 12. — Pyromètre à air.

Le pyromètre à air employé par les physiciens offre la disposition représentée par la figure 12.

L'air se trouve dans un ballon de verre G, qui au moyen d'un tube étroit communique avec le tube à deux branches  $a b$ . Sur la courte branche, il y a un trait M et sur la longue branche une échelle en millimètres. Dans le point le plus bas du tube à deux branches, est adapté un robinet  $h$  pour l'évacuation du mercure. Pour se servir de l'instrument, on entoure le ballon avec de la neige ou de la glace en fusion et ensuite on verse du mercure dans le tube jusqu'à ce que dans les deux branches il soit arrivé à la hauteur du trait M. On enlève alors la neige et l'on expose le ballon G à la température à mesurer. L'air contenu dans le ballon se dilate sous l'influence de la chaleur et presse par suite sur le mercure, de sorte que

celui-ci descend dans la branche gauche et monte dans la branche droite. Lorsque le mercure est devenu immobile, on rétablit le volume primitif de l'air en versant du mercure dans la branche ouverte  $b$ , jusqu'à ce que soit de nouveau atteint le trait M dans la branche fermée.

La pression à  $0^\circ$  était égale à une atmosphère = 760 mm., la pression à  $t^\circ = 760 + l$ , si  $l$  représente la hauteur de la colonne de mercure qui se trouve au-dessus de M. Il suffit pour la détermination de la température d'introduire dans la formule :

$$t = \frac{\frac{p}{p^0} - 1}{\alpha} ,$$

les valeurs correspondantes.  $\alpha$ , le coefficient de dilatation de l'air, étant égal à 0,00366, on a alors :

$$t = \frac{\frac{760 + l}{760} - 1}{0,00366} .$$

L'exactitude de la mesure repose dans ce cas sur ce que le coefficient de dilatation de l'air est 136 fois plus grand que celui du verre.

Les vases de verre ne peuvent pas être employés pour les hautes températures, parce que cette substance se ramollit et fond. Les vases en métal (platine, fer) laissent passer les gaz lorsqu'ils sont chauffés. C'est pour cela que pour les hautes températures on emploie des vases en porcelaine.

Mais les déterminations des températures à l'aide du pyromètre à air ne peuvent pas non plus atteindre une exactitude absolue, parce que le coefficient de dilatation de l'air atmosphérique augmente avec la pression et que l'augmentation de volume du verre et de la porcelaine n'est pas uniforme aux hautes températures.

A cause de la fragilité et de la difficulté de son maniement, le pyromètre à air qui vient d'être décrit ne peut pas être employé pour la détermination des températures des foyers industriels, aussi n'est-il utilisé que dans les laboratoires.

Un pyromètre à air fréquemment employé pour les mesures techniques est le *pyromètre de WİBORGH*, qui repose sur le principe suivant : L'air est chauffé dans un ballon en porcelaine sous la pression atmosphérique à la température qu'il s'agit de mesurer (le ballon est pendant le chauffage en communication au moyen d'un tube avec l'atmosphère et on laisse se dégager de l'air la quantité qui correspond à son augmentation de volume résultant de la dilatation); après avoir interrompu la communication du ballon avec l'atmosphère, on refoule dans le ballon une quantité d'air froid déterminée, mais ne formant qu'une fraction de la capacité du ballon et on chauffe également à la température à mesurer. Comme la quantité d'air refoulée dans le ballon fermé ne peut pas se dilater, sa pression augmente et on la mesure à l'aide d'un manomètre. La température à mesurer est déduite de l'augmentation de la pression de l'air refoulé. L'augmentation de pression qui résulte du refoulement de l'air du volume  $V'$  dans le ballon du volume  $V$ , par conséquent de la condensation de  $V' + V$  au volume  $V$  à  $0^\circ$ , a déjà été préalablement déterminée et elle forme le point 0 de l'échelle pour l'augmentation de pression par le chauffage.

Dans le premier pyromètre indiqué par WİBORGH<sup>1</sup>, l'augmentation de pression est mesurée au moyen d'un manomètre à mercure. Le nouveau pyromètre de WİBORGH mesure la pression au moyen d'un manomètre métallique, ce qui permet de corriger l'influence de la pression barométrique et de la température extérieure, parce qu'on peut comprimer à volonté le vase qui contient la quantité d'air à refouler dans le ballon.

La disposition du pyromètre perfectionné de WİBORGH est mise en évidence par les figures 13 et 14.  $V$  est le ballon en porcelaine à chauffer.  $V'$  est le vase lenticulaire formé d'une feuille métallique, qui contient l'air à refouler en  $V$ . Il peut être complètement aplati et dès qu'on cesse de le comprimer il reprend sa forme primitive. Sur l'une de ses faces il est en communication avec le ballon  $V$ , au moyen d'un tube capillaire, et sur l'autre face, il communique, aussi à l'aide d'un tube semblable, avec l'atmosphère. Par le vase  $V'$ , le ballon  $V$  est par conséquent aussi en communication avec l'atmosphère. Le ballon est relié, au moyen du tube en porcelaine  $A$ , avec la boîte métallique qui renferme le vase  $V'$  et les autres parties de l'instrument. Pour comprimer le vase  $V'$  et pouvoir

<sup>1</sup> Brevet allemand n° 43958.

refouler dans le ballon V l'air contenu dans V', on a adapté sur le côté de ce dernier qui communique avec l'atmosphère une plaque métallique *a*, avec une pièce cylindrique *c*, à travers laquelle passe le tube capillaire s'ouvrant dans l'atmosphère. Dans la boîte se trouve un arbre rotatif *e*, qui, au moyen du bras de levier *f*, est relié à une baguette se terminant par un bouton sphérique *g*. L'arbre *e* est soutenu par l'étrier en fer *d*, fixé sur la plaque de fond de la boîte. Les tourillons de l'arbre sont logés dans la paroi de la boîte et ils sont reliés l'un à l'autre au moyen d'un bras de levier *l* en forme de fourche, qui se trouve en dehors de la boîte et est muni d'une poignée. Lorsqu'on n'effectue pas de mesure de tempé-

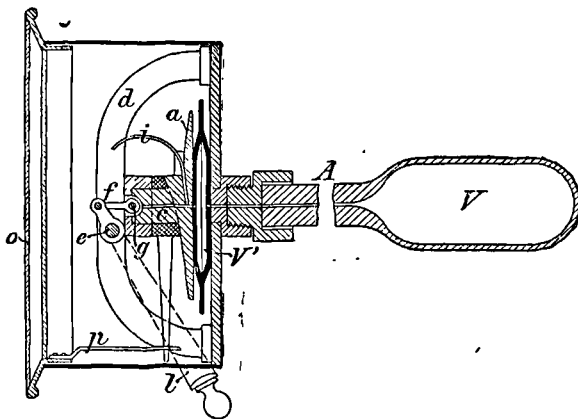


Fig. 13. — Pyromètre de Wiborgh, coupe verticale.

rature, le bras de levier est abaissé par un ressort à boudin. L'orifice du tube capillaire du côté de l'atmosphère est alors ouvert et les vases V' et V sont en communication avec l'air extérieur. Si maintenant on tourne l'arbre *e* à l'aide du bras de levier *l*, la baguette avec extrémité sphérique *g* s'avance de gauche à droite, ferme l'ouverture du tube capillaire débouchant dans l'atmosphère et refoule la pièce *c* avec la plaque *a* ; le vase V' est ainsi comprimé et l'air qu'il renferme passe dans le ballon V. La rotation de l'arbre permet d'aplatir le vase V' complètement ou seulement jusqu'à un certain degré. La pression est mesurée au moyen d'un manomètre métallique, dont le ressort, relié par un petit tube de plomb *i* avec le tube capillaire de la pièce *c*, transmet son mouvement, par l'intermédiaire d'un engrenage, à l'aiguille *v* (fig. 14). Cette dernière indique sur l'échelle la température correspondant à la pression.

Comme il est possible de comprimer le vase V' avec l'intensité que l'on désire et que l'on est ainsi à même d'augmenter ou de diminuer le volume d'air qu'il renferme, on a le moyen de compenser les influences de la pression de l'air et de la température extérieure.

Si dans l'équation :

$$h = \frac{HV'}{1 + \alpha t}, \quad \frac{V}{1 + \alpha T}$$

dans laquelle  $h$  désigne la pression après le chauffage à la température à mesurer,  $t$  la température de l'air extérieur,  $H$  la pression barométrique,  $\alpha$  le coefficient de dilatation de l'air,  $V^1$  le volume d'air à refouler dans le ballon et  $V$  le volume d'air du ballon,  $t = 0$ , on a alors :

$$h = \frac{HV'}{V(1 + \alpha t)}$$

Si, dans l'échelle thermométrique du pyromètre, la température de l'air extérieur est indiquée  $0^\circ$ , tandis que celle-ci s'élève en réalité à  $t^\circ$ , il faut maintenant porter le volume de l'air  $V'$  à  $V'(1 + \alpha t)$ , pour obtenir la même valeur que si  $t$  était égal à  $0^\circ$ .

La pression barométrique  $H$  agit en sens inverse. Plus elle est grande, plus petite doit être la quantité d'air à refouler de  $V'$  dans le ballon, pour que la valeur de  $h$  ne change pas. La température et la pression sont entre elles, relativement à leurs variations, dans un rapport simple. On trouve par le calcul que lorsque la pression barométrique augmente de 70 millimètres, le volume  $V'$  doit être diminué d'une quantité correspondant à un abaissement de la température  $t$  de  $30^\circ$ , si la valeur de  $h$  doit demeurer invariable.

Il est donc possible par une modification convenable du volume d'air  $V'$  d'employer la même échelle pour toute température de l'air extérieur et pour toute pression barométrique.

Afin de permettre d'effectuer la correction, la pièce cylindrique  $c$  munie d'une surface filetée est entourée d'un anneau mobile. L'extrémité supérieure de ce dernier est plane et appliquée par le vase  $V'$  contre une saillie de l'étrier  $d$ ; l'extrémité inférieure a la forme d'une vis et elle s'engrène dans un pas correspondant de la pièce  $c$  dans le voisinage de la plaque  $a$ . Lorsqu'on tourne l'anneau, la plaque métallique  $a$  est relevée ou abaissée et le volume du vase  $V'$  est ainsi modifié. On produit la rotation de l'anneau à l'aide du couvercle mobile  $o$  de la boîte. Au couvercle est fixée une baguette métallique  $p$  en forme de fourche, qui saisit une tige adaptée à l'anneau. Si maintenant on tourne le couvercle de la boîte, ce mouvement est transmis à l'anneau par la baguette  $p$  et la tige.

L'échelle des températures de l'instrument se trouve sur le cadran  $q$  (fig. 14). Ce dernier porte en outre une petite échelle pour la correction de la pression barométrique, un thermomètre  $s$ , qui indique la température du volume d'air  $V^1$ , et l'échelle  $r$  pour le baromètre anéroïde. Enfin, sur

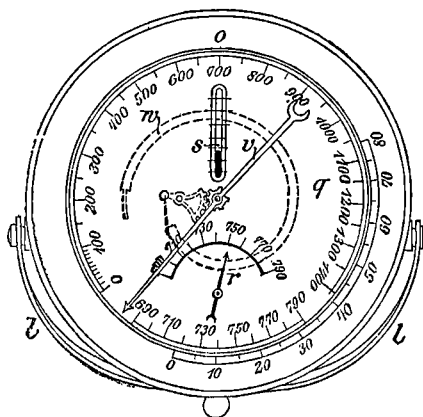


Fig. 14. — Pyromètre de Wiborgh, vue extérieure.

l'anneau mobile du couvercle  $o$  est établie une échelle thermométrique pour la correction de la température  $t$ .

Cette échelle est graduée de façon que, lorsque l'anneau  $o$  du couvercle de la boîte est tourné d'une quantité correspondant à la distance de  $0$  à  $t^\circ$ , le volume du vase  $V'$  est porté à  $V^1 (1 + \alpha t)$ . L'échelle barométrique du cadran est graduée de telle sorte qu'une différence de 78 millimètres dans la pression barométrique  $y$  occupe le même espace que  $30^\circ$  sur l'échelle thermométrique de l'anneau. Pour effectuer une correction complète, il suffit de tourner l'anneau  $o$  du couvercle de la boîte, de façon que la température indiquée par le thermomètre  $s$  et la pression marquée par le

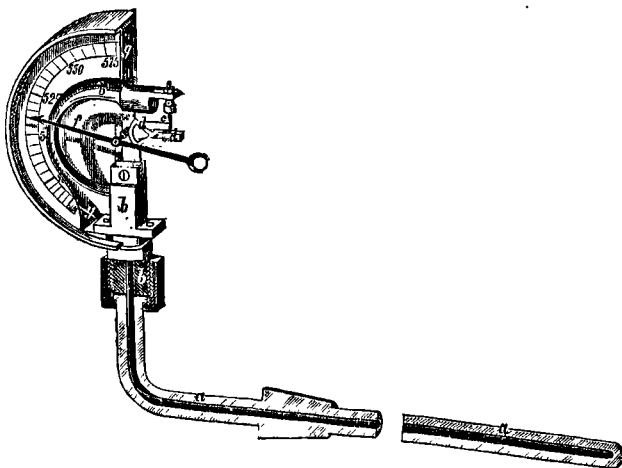


Fig. 15. — Thalpotasimètre de Klinghammer.

baromètre  $r$  soient en parfaite concordance sur les échelles les concernant. Dans ce cas, l'aiguille  $v$  indique directement la température exacte  $T$ .

Pour effectuer une mesure, on place d'abord l'anneau du couvercle de la boîte dans la position exacte, après quoi on relève le bouton de l'étrier  $l$  aussi haut que possible et on le maintient immobile jusqu'à ce que l'aiguille  $v$  ne bouge plus. Par suite du mouvement de l'étrier  $l$ , l'orifice du petit tube capillaire est fermé, le vase  $V^1$  est comprimé et l'air qu'il contient est refoulé dans le ballon  $V$  du tube pyrométrique, dans lequel le volume d'air  $V^2$  est chauffé. La tension ainsi produite est mise en évidence par l'aiguille du manomètre. Après la lecture de la température, on abandonne à lui-même le bouton de  $l$ ; celui-ci rebondit par suite de l'élasticité et de l'action du ressort à boudin enroulé sur l'arbre  $e$ , le petit tube capillaire s'ouvre et l'aiguille retourne dans sa position primitive.

*Pyromètres fondés sur la variation de la tension de la vapeur de certains corps avec la température. Thermo-dynamomètres.*

Comme lorsqu'on chauffe de l'air en vase clos, la pression de celui-ci varie avec la température, de même aussi varie avec la température la

tension des vapeurs de liquides, qui sont chauffés dans des vases hermétiquement clos au-dessus de leur point d'ébullition. C'est sur ce principe que reposent les pyromètres que l'on désigne sous le nom de *thermo-dynamomètres*. La pression, dont le rapport avec la température doit être déterminée pour chaque liquide en particulier, est lue sur un manomètre. Le plus connu de ces instruments est le *thalpotasimètre* de **Klinghammer**. Cet appareil repose sur la variation de la tension de la vapeur de l'éther, de l'eau, des produits de distillation du pétrole et du mercure, mais il n'indique les températures que jusqu'à 750°, parce que au-dessus le pyromètre pourrait faire explosion.

Cet instrument, qui est représenté par la figure 15, se compose d'un tube en fer doux *a* et d'un manomètre de **Bourdon** qui y est fixé.

Dans les appareils destinés à la mesure des plus hautes températures, le tube, afin d'éviter son oxydation, est entouré d'un deuxième tube. L'espace entre les deux tubes est rempli de plomb liquide. Afin d'éviter de hautes tensions de vapeur, on emploie pour remplir le tube pour les différentes températures, des liquides différents, soit pour mesurer les températures de :

- 25 à 90° l'éther,
- 90 à 200° l'eau,
- 200 à 360° les produits de distillation du pétrole,
- 360 à 750° le mercure.

Le tube est exposé à la température à mesurer et la pression est lue sur le manomètre.

Ces instruments ne permettent pas de déterminer exactement les températures, et ils sont tout à fait inserviables, dès que les manomètres ne se trouvent plus en bon état.

*Pyromètres fondés sur les points de fusion de corps solides.*

On a fondé de nombreux pyromètres sur la fluidification de corps solides dont les points de fusion sont connus. On expose à la température à mesurer différents corps fusibles sous forme de petits morceaux de forme régulière, placés dans des supports réfractaires et on observe le changement de leur état d'agrégation. La température à mesurer est entre les points de fusion du dernier corps fondu et du premier corps resté solide. Cette méthode ne fait qu'indiquer si on a atteint ou non un certain degré de chaleur. Elle est en défaut lorsque la température baisse, parce qu'alors les corps employés n'indiquent plus rien. C'est pour cela que l'on donne aussi à ces pyromètres le nom de *pyrosopes*.

Les anciens pyromètres, encore fréquemment employés aujourd'hui, sont basés sur les points de fusion de métaux et d'alliages.

Les alliages et métaux suivants fondent respectivement à :

4 Sn, 8 Pb, 15 Bi, et 3 Cd . . . . .	60°
8 Bi, 3 Sn et 5 Pb . . . . .	100°
8 Bi, 8 Sn et 8 Pb. . . . .	123°
8 Bi, 14 Sn et 16 Pb. . . . .	143°

8 Bi, 36 Sn et 32 Pb. . . . .	160°
8 Bi, 24 Sn et 30 Pb. . . . .	172°
1 Bi, 8 Sn et Pb. . . . .	199°
4 Sn et 7 Pb . . . . .	216°
Sn . . . . .	235°
Bi . . . . .	249°
4 Sn et 30 Pb. . . . .	277°
2 Sn et 50 Pb. . . . .	292°
Pb. . . . .	335°
Zn. . . . .	420°
Al. . . . .	620°
Ag. . . . .	968°
Au. . . . .	1075°

Le *platine* fond, d'après BECQUEREL, entre 1460° et 1580°; d'après DEVILLE, à 2000°; d'après VIOLLE, à 1779°. On admet ordinairement qu'il fond à 1750°.

Les métaux non précieux ont l'inconvénient de s'oxyder sous l'influence de la chaleur. C'est pour cela qu'on se sert de préférence, pour la détermination des hautes températures, des points de fusion de métaux précieux ou de leurs alliages.

PRINSEP a employé pour la détermination des températures entre 954 et 1775° (points de fusion de l'argent et du platine) des *alliages d'argent, d'or et de platine*, et il a établi une échelle particulière, l'échelle de PRINSEP. Dans ces derniers temps, cette échelle a été corrigée par ERHARD et SCHERTKL, de Freiberg. Ces savants ont déterminé les points de fusion des différents métaux et alliages jusqu'à 1400°, à l'aide du pyromètre à air en porcelaine. Les hautes températures ont été déterminées d'après les indications de VIOLLE par interpolation graphique.

L'échelle corrigée de PRINSEP, que nous donnons ci-dessous, est assez exacte pour les températures jusqu'à 1200°, mais au delà de 1200° les points de fusion des différents alliages seraient incertains, parce que des alliages d'or-platine contenant plus de 20 p. 100 de platine ressuient sous l'influence de la chaleur un alliage plus riche en or, et parce que le platine mélangé avec une faible quantité d'iridium devient plus difficilement fusible, tandis qu'en absorbant du silicium (provenant des briques réfractaires et de la cendre du combustible), il devient plus fusible. Voici l'échelle corrigée de PRINSEP :

Ag =	954°	60 Au + 40 Pt =	1320°
80 Ag + 20 Au =	975°	55 Au + 45 Pt =	1350°
60 Ag + 40 Au =	995°	50 Au + 50 Pt =	1385°
40 Ag + 60 Au =	1020°	45 Au + 55 Pt =	1420°
20 Ag + 80 Au =	1045°	40 Au + 60 Pt =	1460°
Au =	1075°	35 Au + 60 Pt =	1495°
95 Au + 5 Pt =	1100°	30 Au + 70 Pt =	1535°
90 Au + 10 Pt =	1130°	25 Au + 75 Pt =	1570°
85 Au + 15 Pt =	1160°	20 Au + 80 Pt =	1610°
80 Au + 20 Pt =	1190°	15 Au + 85 Pt =	1650°
75 Au + 25 Pt =	1220°	10 Au + 90 Pt =	1690°
70 Au + 30 Pt =	1255°	5 Au + 95 Pt =	1730°
65 Au + 35 Pt =	1285°	Pt =	1775°



Le DEUTSCHE GOLD- UND SILBERSCHNEIDANSTALT, à Francfort-sur-Main, fournit au prix 50 francs 16 métaux ou alliages pour la détermination des températures dans l'ordre suivant :

Cd = 315° (point de fusion) Zn = 412°,  
 Al = 620°, 800 Ag + 200 Cu = 850°,  
 950 Ag + 50 Cu = 900°,  
 Ag = 954°, 400 Ag + 600 Au = 1 020°,  
 Au = 1 075°, 950 Au + 50 Pt = 1 100°,  
 900 Au + 100 Pt = 1 130°  
 850 Au + 150 Pt = 1 160°  
 800 Au + 200 Pt = 1 190°  
 750 Au + 250 Pt = 1 200°  
 700 Au + 300 Pt = 1 255°  
 600 Au + 400 Pt = 1 320°

A cause des inconvénients que l'échelle présente pour les températures élevées, inconvénients que nous avons signalés plus haut, il a été proposé dans ces derniers temps, par SEGER d'abord et ensuite par LAUTH et VOGT, de remplacer les métaux et alliages, pour la mesure des températures au-dessus de 1 200°, par d'autres corps (montres fusibles).

SEGER prépare avec du quartz, du kaolin, du feldspath et du marbre (c'est-à-dire avec les matières premières de la glaçure de la porcelaine de Berlin) une série de mélanges; il leur donne la forme de petites pyramides

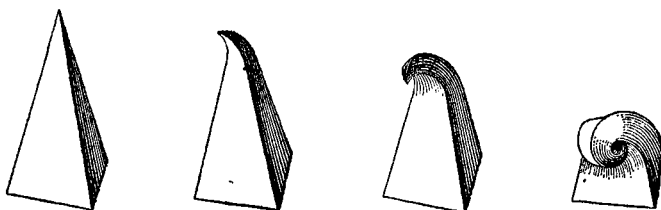


Fig. 16. — Montres fusibles de Seger.

triangulaires (fig. 16) ou de cônes, ayant 6 centimètres de hauteur et 1,5 centimètre de côté ou de diamètre à la base, et il expose ces pyramides (ou ces cônes), placées dans des capsules ou de petites boîtes en terre réfractaire, à la température à mesurer. Lorsque la température atteint le point de fusion du mélange qui y est exposé, la pointe de la pyramide s'incline d'abord (voy. la fig. 16), puis elle s'affaisse de plus en plus, comme le montrent les deux dernières pyramides.

Aux cônes normaux de SEGER, qui indiquaient les températures de 1 150 à 1 700°, CRAMER et HECHT<sup>1</sup> ont ajouté des cônes pour les températures moyennes et basses, en introduisant dans les mélanges de l'acide borique.

Le tableau suivant renferme la série complète, dans laquelle les températures ont été déterminées ou évaluées par HECHT, à l'aide du pyromètre électrique de LE CHATELIER.

<sup>1</sup> *Jahresbericht der chem. Technologie*, 1892, p. 640, 1895, p. 747; *Tonindustrie-Zeitung*, 1896, n° 18.

N <sup>os</sup>	COMPOSITION CHIMIQUE	Tempé- ratures	N <sup>os</sup>	COMPOSITION CHIMIQUE	Tempé- ratures
022	0,5 Na <sup>2</sup> O 0,5 PbO	590°	4	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1210°
	(2 SiO <sup>2</sup> 1 B <sup>2</sup> O <sup>3</sup> )			0,5 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 4SiO <sup>2</sup>	
021	0,5 Na <sup>2</sup> O 0,5 PbO	620°	5	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1230°
	0,1 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			0,5 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 5SiO <sup>2</sup>	
020	0,5 Na <sup>2</sup> O 0,5 PbO	650°	6	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1250°
	0,2 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			0,6 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 6SiO <sup>2</sup>	
019	0,5 Na <sup>2</sup> O 0,5 PbO	680°	7	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1270°
	0,3 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			0,7 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 7SiO <sup>2</sup>	
018	0,5 Na <sup>2</sup> O 0,5 PbO	710°	8	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1290°
	0,4 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			0,8 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 8SiO <sup>2</sup>	
017	0,5 Na <sup>2</sup> O 0,5 PbO	740°	9	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1310°
	0,5 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			0,9 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 9SiO <sup>2</sup>	
016	0,5 Na <sup>2</sup> O 0,5 PbO	770°	10	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1330°
	0,55 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			1,0 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 10SiO <sup>2</sup>	
015	0,5 Na <sup>2</sup> O 0,5 PbO	800°	11	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1350°
	0,6 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			1,2 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 12SiO <sup>2</sup>	
014	0,5 Na <sup>2</sup> O 0,5 PbO	830°	12	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1370°
	0,65 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			1,4 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 14SiO <sup>2</sup>	
013	0,5 Na <sup>2</sup> O 0,5 PbO	860°	13	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1390°
	0,7 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			1,6 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 16SiO <sup>2</sup>	
012	0,5 Na <sup>2</sup> O 0,5 PbO	890°	14	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1410°
	0,75 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			1,8 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 18SiO <sup>2</sup>	
011	0,5 Na <sup>2</sup> O 0,5 PbO	920°	15	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1430°
	0,8 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			2,1 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 21SiO <sup>2</sup>	
010	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	950°	16	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1450°
	0,2 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,3 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			2,4 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 24SiO <sup>2</sup>	
09	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	970°	17	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1470°
	0,2 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,3 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			2,7 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 27SiO <sup>2</sup>	
08	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	990°	18	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1490°
	0,2 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,3 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			3,1 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 31SiO <sup>2</sup>	
07	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1010°	19	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1510°
	0,2 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,3 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			3,5 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 35SiO <sup>2</sup>	
06	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1030°	20	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1530°
	0,2 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,3 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			3,9 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 39SiO <sup>2</sup>	
05	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1050°	21	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1550°
	0,2 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,3 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			4,4 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 44SiO <sup>2</sup>	
04	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1070°	22	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1570°
	0,2 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,3 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			4,9 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 49SiO <sup>2</sup>	
03	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1090°	23	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1590°
	0,2 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,3 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			5,4 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 54SiO <sup>2</sup>	
02	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1110°	24	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1610°
	0,2 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,3 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			6,0 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 60SiO <sup>2</sup>	
01	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1130°	25	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1630°
	0,2 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,3 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			6,6 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 66SiO <sup>2</sup>	
1	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1150°	26	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1650°
	0,2 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,4 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			7,2 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 72SiO <sup>2</sup>	
2	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1170°	27	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1670°
	0,1 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,4 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			20 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 200SiO <sup>2</sup>	
3	0,3 K <sup>2</sup> O 0,7 CaO	1190°	28		1690°
	0,05 Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0,45 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>			Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 10SiO <sup>2</sup>	

Nous devons faire remarquer que les cônes n<sup>os</sup> 4 à 27 se composent de feldspath, de quartz et de kaolin de Zettlitz, et que les cônes 26 à 36 fondent à des températures qui ne sont que rarement atteintes dans les fours. Ces cônes servent pour la détermination du degré de la résistance au feu des argiles dans le four soufflé de DEVILLE. Ils ont été joints de la série de SEGER

par le laboratoire pour l'industrie céramique de Berlin. On peut se procurer les cônes en question par l'intermédiaire de la *Tonindustriezeitung*, à Berlin.

LAUTH et VOGT emploient des corps fusibles qui sont composés de différents mélanges de pegmatite, de sable, de craie et de borax fondu, et sont frittés.

*Pyromètres fondés sur la dissociation de certains corps.*

Il a été construit pour la détermination des températures entre 500 et 1 000°, un pyromètre basé sur la dissociation du carbonate de calcium. Mais cet instrument s'est montré inserviable. Comme on le sait, l'acide carbonique commence à se séparer du carbonate de calcium à la température de 500° et, à mesure que la température s'élève, il se dégage en quantités de plus en plus grandes, jusqu'à ce que, à 1 000°, il se soit dégagé complètement. On cherche, de la quantité d'acide dégagée, à déduire le degré de la température correspondante. Mais comme il ne paraît pas exister un rapport déterminé entre la quantité de l'acide carbonique dégagé et la température, et qu'en outre la facilité avec laquelle se décompose le carbonate de calcium dépend de sa structure, l'emploi de ce procédé ne peut pas donner des résultats exacts.

*Pyromètres fondés sur des phénomènes optiques.*

Parmi les pyromètres basés sur des *phénomènes optiques*, nous mentionnerons d'abord la lunette pyrométrique de Mesuré et Nouel, cons-

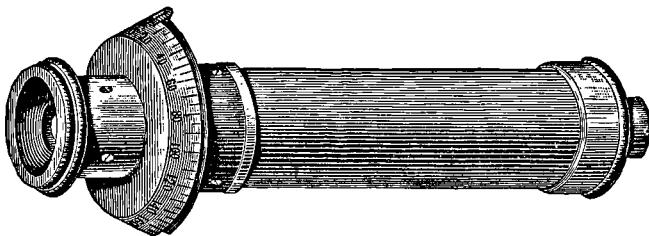


Fig. 17. — Lunette pyrométrique de Mesuré et Nouel, vue extérieure.

truite par L. DUCRETET, à Paris. Cet appareil est représenté par les figures 17 à 19. Il repose sur la polarisation des rayons lumineux par des corps chauffés à l'incandescence<sup>1</sup>. Il se compose d'un tube muni d'un oculaire et d'un objectif et dans lequel deux prismes de Nicol, le polariseur et l'analyseur, séparés par un disque de quartz, sont disposés de façon que les plans d'incidence soient en croix, c'est-à-dire à 90° l'un de l'autre; *a* est l'oculaire, *b* l'objectif, *d* le polariseur, *f* l'analyseur, *g* la plaque de quartz. Si maintenant le rayon lumineux traverse le prisme *d*, il est polarisé dans

<sup>1</sup> FISCHER, *Die chemische Technologie der Brennstoffe*, I, p. 608; *Portefeuille économique des machines*, 4<sup>e</sup> série. t. V, col. 9, 1896.

un plan déterminé par la section principale de  $d$ . S'il pénétrait ensuite directement dans le deuxième prisme  $f$ , dont la section principale est perpendiculaire au premier, il serait complètement éteint. Mais le disque de quartz placé entre les deux prismes tourne le plan de polarisation de façon qu'il tombe obliquement sur le plan d'incidence du prisme  $f$ . Par

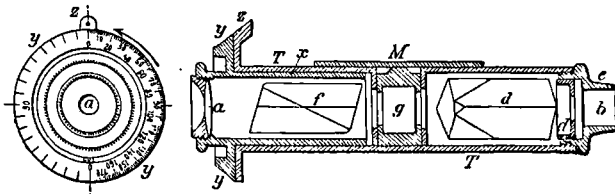


Fig. 18 et 19. — Lunette pyrométrique de Mesuré et Nouel, coupes transversale et longitudinale.

suite de cela, le rayon peut traverser ce dernier prisme (l'analyseur), sans qu'il soit éteint complètement. L'angle de rotation du plan de polarisation est, d'une part, directement proportionnel à l'épaisseur de la

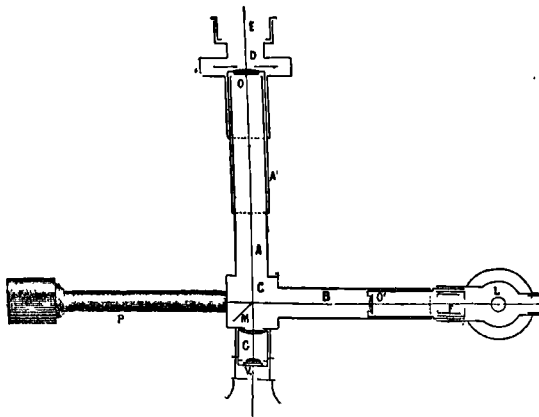


Fig. 20. — Pyromètre optique de Le Châtelier, coupe.

lamme de quartz et, d'autre part, inversement proportionnel à la racine carrée de la longueur de l'onde lumineuse. Cette longueur varie avec la couleur de l'onde lumineuse, qui dépend de la couleur du rayon lumineux ordinaire émis par le corps incandescent. Cette couleur du rayon lumineux ordinaire dépend à son tour de la température du corps incandescent. D'après cela, la température de ce dernier doit pouvoir être déterminée d'après la grandeur de l'angle de rotation du plan de polarisation, ou de l'angle de déviation. L'analyseur  $f$  peut tourner avec une partie de la lunette ( $x$ ) ; sur cette partie du tube se trouve une graduation  $y$ , qui est mobile devant un index fixe  $z$ , de sorte que l'on peut mesurer l'angle de rotation. Si maintenant on observe à l'aide de la lunette un corps incandescent, on verra, suivant la température de ce dernier, en tournant lentement l'analyseur,

la lumière sous des colorations différentes. L'apparition d'une couleur déterminée permettra donc, d'après l'angle de rotation, de tirer une conclusion relativement à la température. Si l'on continue d'observer, on arrive à une position dans laquelle la couleur passe du vert au rouge. Entre les deux, on observe une coloration jaun-citron. Cette teinte transitoire est la couleur exacte, la teinte sensible. Dès qu'elle apparaît, on cesse de tourner et sur la graduation on lit l'angle qui correspond à la température du corps incandescent. Mais les angles de rotation entre les différentes températures sont si petits, que l'on ne peut pas s'attendre à ce qu'ils indiquent *exactement* les températures.

Les températures et les couleurs d'incandescence correspondant aux angles de rotation sont indiquées dans le tableau suivant :

ANGLES DE ROTATION	TEMPÉRATURES	COULEURS D'INCANDESCENCE
33°	800°	Rouge-cerise naissant.
40	900	Rouge-cerise.
46	1 000	Rouge-cerise clair.
52	1 100	Jaune orangé.
57	1 200	Jaune.
62	1 300	Jaune clair.
66	1 400	Blanc soudant.
69	1 500	Blanc éblouissant.

D'après les indications de la *Physikalische-Technische Reichanstalt*, de Berlin, on admet pour les couleurs d'incandescence les températures suivantes :

Rouge commençant . . . . .	525°
Rouge foncé . . . . .	700°
Rouge-cerise . . . . .	850°
Rouge clair . . . . .	950°
Rouge jaune . . . . .	1 100°
Rouge blanc commençant . . . . .	1 300°
Blanc . . . . .	1 500°

[LE CHATELIER, se basant sur l'idée émise par BECQUEREL, de ramener la mesure des températures élevées à la mesure de l'intensité des radiations rouges émises par les corps incandescents, a imaginé un dispositif approprié à ces mesures, et il a en même temps déterminé la loi de radiation des corps, en fonction de la température<sup>1</sup>. Ce dispositif, le **pyromètre optique de Le Châtelier** (fig. 20 et 21), consiste en un photomètre dérivé du système de CORNU. Il comprend un oculaire G, à travers lequel on vise l'image du corps dont on veut déterminer la température, et celle de la flamme d'une petite lampe à essence servant d'étalon d'intensité lumi-

<sup>1</sup> Voy. *Portefeuille économique des machines*, 4<sup>e</sup> série, t. V, col. 9, 1896; LE CHATELIER et BOUDOUARD, *Mesure des températures élevées*, p. 159.

neuse. Cette lampe L, placée sur le côté, forme son image à travers l'objectif ; la lumière est envoyée dans la direction de l'œil par le miroir M.

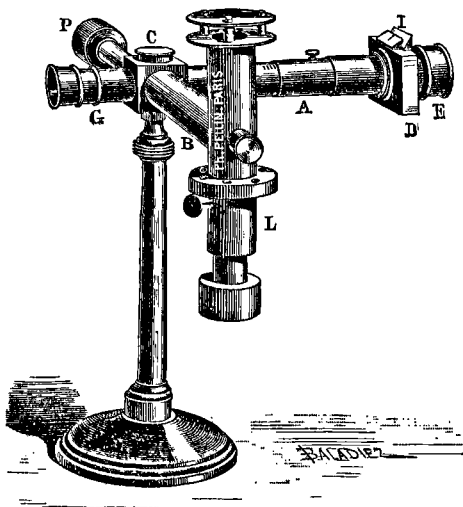


Fig. 21. — Pyromètre optique de Le Châtelier; vue d'ensemble.

L'objectif O fournit une image du corps dont on veut déterminer la température. L'appareil est réglé de façon que les deux images soient coupées par l'arête du miroir et viennent, par suite, se juxtaposer, ce qui facilite la comparaison de leurs intensités lumineuses. On égalise d'abord approximativement ces intensités, en plaçant en E des verres absorbants foncés, puis on l'achève au moyen d'un diaphragme, dit œil de chat, placé en D, dont on peut faire varier l'ouverture en suivant une graduation. L'intensité de la lumière émise est déterminée par le nombre de verres absorbants et l'ouverture du diaphragme, qui

ont amené l'image à avoir la même intensité que celle de la petite lampe à essence. En avant de l'oculaire, en V, se trouve le verre rouge monochromatique.

LE CHATELIER a fait une première graduation de son pyromètre en mesurant l'éclat d'oxyde de fer chauffé sur la soudure d'un couple thermo-électrique, et en admettant que, pour le rouge, le pouvoir émissif de ce corps est égal à l'unité. Il a trouvé une loi de variation de l'intensité des radiations rouges en fonction de la température, qui est représentée par la formule suivante :

$$I = 10^{0,7} \cdot T^{-\frac{3210}{T}}$$

dans laquelle l'unité d'intensité correspond à la région axiale la plus brillante de la flamme d'une bougie. T est la température absolue.

Le tableau suivant, emprunté à LE CHATELIER et BOUDOARD, donne l'intensité des radiations rouges émises par les corps d'un pouvoir émissif égal à l'unité et les températures correspondantes :

Intensités.	Températures.	Intensités.	Températures.
0,00008	600°	0,24	1 100
0,00073	700	0,64	1 200
0,0046	800	1,63	1 300
0,020	900	3,35	1 400
0,078	1 000	6,7	1 500

PRODUCTION DE LA CHALEUR NÉCESSAIRE POUR L'EXTRACTION DES MÉTAUX 119

Intensités.	Températures.	Intensités.	Températures.
12,5	1 600°	28 000	5 000
22,4	1 700	56 000	6 000
39,0	1 800	100 000	8 000
60,0	1 900	150 000	7 000
93,0	2 000	224 000	9 000
1 800	3 000	305 000	10 000
9 700	4 000		

Une série de mesures, faites dans des usines à fer avec le pyromètre de LE CHATELIER, ont donné les résultats suivants :

*Haut fourneau pour fonte Bessemer :*

Creuset devant les tuyères . . . . .	1 930°
Coulée de la fonte, commencement . . . . .	1 400
— — fin . . . . .	1 520

*Convertisseur Bessemer :*

Coulée de la scorie . . . . .	1 580°
Coulée de l'acier dans la poche . . . . .	1 640
— — dans les lingotières . . . . .	1 580
Réchauffage du lingot . . . . .	1 200
Fin du martelage . . . . .	1 080

*Four Martin-Siemens :*

Coulée de l'acier dans la poche, commencement . . . . .	1 580°
— — — fin . . . . .	1 420
Coulée dans les moules . . . . .	1 490

Le pyromètre optique de LE CHATELIER, en raison de l'incertitude sur les pouvoirs émissifs et du peu de sensibilité de l'œil pour la comparaison d'intensités lumineuses, ne peut pas conduire à des résultats aussi précis que les autres méthodes pyrométriques. Son emploi doit être limité aux cas où ces autres méthodes se trouvent nécessairement en défaut : par exemple dans le cas de corps en mouvement, comme un rail passant au laminier, dans le cas de températures très élevées, supérieures à la fusion du platine, comme celle du creuset du haut fourneau ou celle du four électrique; dans le cas de corps isolés rayonnant librement dans l'air comme les flammes carbonées ou des fils chauffés par le courant électrique, que l'on ne pourrait toucher sans modifier leur température <sup>1</sup>.

Le pyromètre optique de H. Wanner <sup>2</sup> permet de mesurer exactement les températures les plus élevées à partir 900°, et cela de la manière la plus simple. C'est une lunette photométrique dont les figures 22 et 23 représentent deux coupes rectangulaires. En S<sub>1</sub>, se trouve un bouchon métallique percé de deux fentes *a* et *b*, placées l'une au-dessus de l'autre.

<sup>1</sup> LE CHATELIER et BOUDOARD, *loc. cit.* p. 171.

<sup>2</sup> *Portefeuille économique des machines*, 5<sup>e</sup> série, t. I, col. 73, 1902. *Zeitschrift für angewandte Chemie*, 1902, Heft 28; *Revue de chimie pure et appliquée*, t. VI, p. 143, 1903.

Les rayons provenant de  $a$  et  $b$  viennent tomber sur une lentille  $O$ , qui les rend parallèles. Le faisceau traverse ensuite un prisme  $K$  à vision directe, dont le but est d'éliminer toutes les parties du spectre avoisinant la ligne  $C$  de FRAUENHOFER; seule, une étroite partie comprenant cette ligne subsiste, de telle sorte qu'en regardant à travers l'appareil, on voit les objets en lumière rouge. Le prisme  $K$  est suivi d'un polariseur, qui sépare les faisceaux lumineux provenant de  $a$  et  $b$  en deux portions polarisées à angle droit. On rencontre ensuite un double prisme  $Z$ , par lequel les rayons sont rejetés des deux côtés de l'axe. En  $O_2$  est une lentille, qui ramène les rayons devant la fente de  $S_2$ . Un nicol analyseur est placé en  $N$  et devant lui se trouve l'oculaire. Le prisme  $Z$  est construit de façon qu'une image de  $a$  (rayon ordinaire) et une de  $b$  (rayon extraordinaire) tombent juste

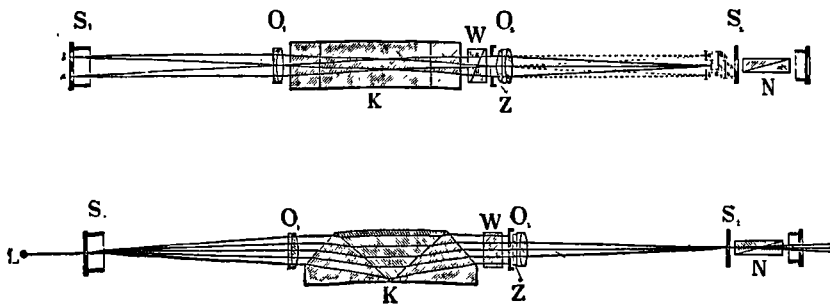


Fig. 22 et 23. — Pyromètre optique de Wannier.

ensemble devant la fente; les images de  $a$  (rayon extraordinaire) et de  $b$  (rayon ordinaire) tombent de chaque côté de la fente et par suite ne sont pas perçues. L'œil regardant dans l'appareil voit une moitié de champ visuel, correspondant à une moitié du double prisme, éclairée par  $a$  et l'autre moitié, correspondant à l'autre moitié du double prisme, éclairée par  $b$ . En faisant tourner l'analyseur, on fera varier l'intensité de ces deux parties.

Pour effectuer une mesure, on vise avec l'instrument l'objet incandescent dont on veut déterminer la température. On perçoit alors dans le champ les deux teintes rouges rappelant celle de la ligne rouge de l'hydrogène, mais l'une d'elles paraît plus éclatante et l'autre plus sombre. L'une d'elles correspond au corps incandescent observé, l'autre à une lampe à incandescence-étalon. On fait tourner l'oculaire jusqu'à égalité de teinte et on lit sur la graduation dont l'appareil est muni l'angle parcouru; il suffit alors de chercher dans la table qui accompagne le pyromètre la température correspondant à cet angle.

La lampe-étalon auxiliaire est une petite lampe électrique fixée sur l'appareil et entretenue par une batterie d'accumulateurs. Cet étalon doit être contrôlé de temps en temps, afin d'éviter les erreurs. La comparaison se fait avec une lampe à acétate d'amyle, d'une hauteur de flamme déterminée. Si les accumulateurs et la lampe fonctionnent convenablement, on doit obtenir l'égalité des champs lumineux du photomètre, quand on vise la lampe en donnant à l'analyseur une rotation déterminée. Si ce résultat



n'est pas atteint, les accumulateurs doivent être rechargés. La manœuvre de l'appareil est extrêmement simple; avec un peu d'habitude, on peut effectuer une mesure dans l'espace de quelques secondes, et l'erreur que l'on peut commettre est, dans la plupart des cas, inférieure à 1 p. 100.

Des observations comparatives, faites avec le pyromètre thermo-électrique de LE CHATELIER et le pyromètre de WANNER, ont donné les résultats suivants :

Pyromètre thermo- électrique de Le Châtelier.	Pyromètre optique de Wanner.	Différences.
1 269°,8	1 262°	— 7,8
1 297 ,3	1 297	— 0,3
1 415 ,1	1 420	+ 4,9
1 248 ,8	1 240	— 8,8
1 508 ,2	1 509	+ 1,2
1 249 ,8	1 245	— 4,8
1 205 ,3	1 210	+ 4,7
1 364 ,8	1 357	— 7,8
1 465 ,1	1 461	— 3,9
1 181 .1	1 184	+ 3,0

Le pyromètre de Féry<sup>4</sup> est un pyromètre à radiations calorifiques, pour la construction duquel son inventeur a mis à profit la relation STEFAN :

$$R = a (T^4 - t^4),$$

dans laquelle R est la quantité de chaleur versée par un corps rayonnant à une température absolue T sur un autre corps à une température t, les pouvoirs émissifs de ces deux corps étant égaux à l'unité; a est une constante. Comme il s'agit de températures élevées, t<sup>4</sup> est négligeable par rapport à T<sup>4</sup>. On peut donc simplifier l'expression sous la forme suivante :

$$R = a T^4$$

Ainsi présentée, la formule exige pour son application des corps dont le pouvoir émissif soit voisin de l'unité, corps qui sont peu nombreux. Mais, d'après le théorème de KIRCHOFF, la puissance de la radiation est indépendante de la nature de la paroi rayonnante et égale à l'unité dans le cas d'une enceinte fermée. Cette condition peut être remplie dans la pratique, lorsqu'il s'agit de déterminer la température d'un four, l'ouverture étant généralement assez petite pour que la conception théorique de KIRCHOFF soit justifiée. Dans le cas où il s'agit de corps chauds placés en dehors d'un foyer, si l'on se trouve en présence de métaux, la condition exigée est encore sensiblement satisfaite, puisque l'on se trouve en présence de corps recouverts généralement d'oxydes noirs.

Comme on l'a déjà dit, l'appareil de FÉRY, qui est représenté par les figures 24, 25 et 26, est un pyromètre à radiations calorifiques. On ramène la mesure à celle de l'élévation de température d'un corps choisi comme corps thermométrique. L'organe essentiel est un réticule thermo-électrique, formé

<sup>4</sup> Comptes rendus, t. CXXXIV, p. 977, 1902; Revue de chimie pure et appliquée, t. VI, p. 142, 1903.

de deux fils très fins (fer-constantan), soudés sur les deux disques A et B, suivant deux diamètres rectangulaires. Les disques sont montés sur une pièce isolante  $a$ , qui les maintient parallèles à une distance de 0,5 mm. ;

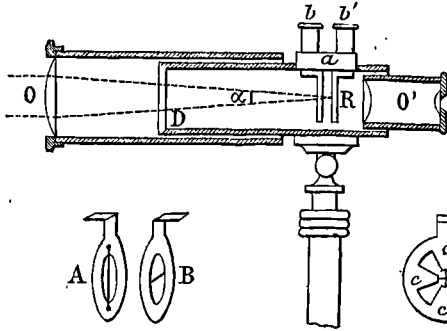


Fig. 24, 25 et 26. — Pyromètre de Féry.

on soude ces deux lames ensemble et l'on a ainsi un couple thermo-électrique. Les deux bornes  $b$  et  $b'$  servent pour les prises de courant. Les radiations sont concentrées sur le réticule, au moyen d'une lentille O en fluorine. Ce corps a une absorption qui devient proportionnelle à la quantité de chaleur incidente à partir de  $900^{\circ}$ . Pour s'affranchir de la distance du corps rayonnant, le tube de la lunette (dans la partie qui porte le réticule) est fermé par un diaphragme D, qui limite l'angle au sommet  $\alpha$  du cône formé par les rayons concentrés par la lentille. Ce diaphragme permet de régler l'angle à une valeur constante, indépendante du tirage

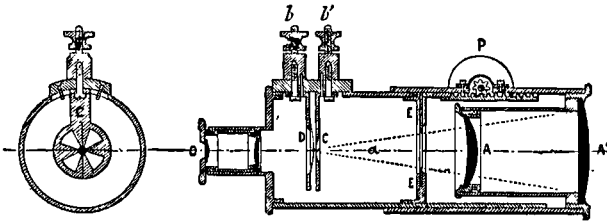


Fig. 27. — Pyromètre industriel du Féry-Pellin.

nécessité par la mise au point. En outre, pour rendre les indications indépendantes des dimensions de la source, à partir du moment où son image couvre la partie utile du couple, on a disposé sur le disque d'avant un

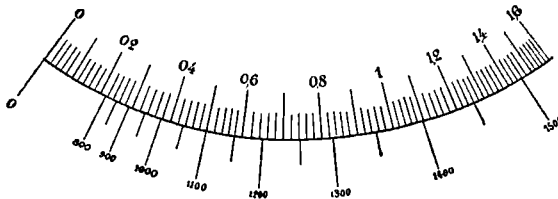


Fig. 28. — Graduation du galvanomètre du pyromètre Féry-Pellin.

écran en croix, dont les bras  $c$  ont pour but de diminuer la longueur des lames soumises au rayonnement. Un galvanomètre approprié complète l'appareil. Les indications données sont très rapides, car la masse à échauffer est très faible. Le retour au zéro a aussi lieu très rapidement.

PH. PELLIN a construit pour les usages industriels un pyromètre de FÉRY, dans lequel l'objectif A A' (fig. 27) est fait d'un verre spécial, plus facile à se procurer que la fluorine en morceaux de grosseur convenable, et qui permet, contrairement à ce qui a lieu avec celle-ci, de réaliser une lunette assez sensible pour donner des déviations lisibles directement sur un cadran. L'objectif a une ouverture assez grande pour obtenir sur les galvanomètres industriels une lecture facile. L'appareil est gradué par comparaison avec un pyromètre à objectif en fluorine. A pleine ouverture, il donne toute l'échelle, soit environ 10 cm., de 800 à 1 500°. La graduation d'un de ces appareils est représentée par la figure 28. Avec la division

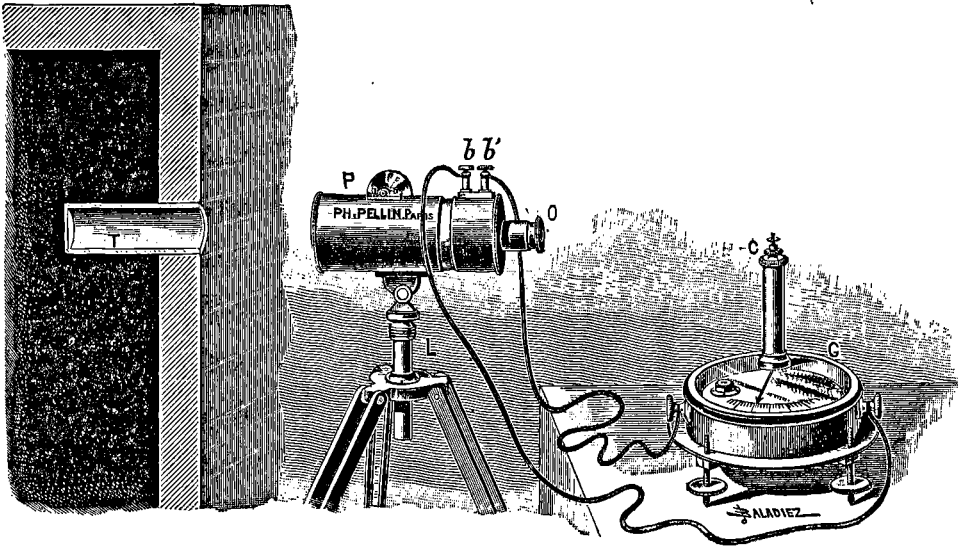


Fig. 29. — Vue d'ensemble du pyromètre Féry-Pellin avec son galvanomètre.

en millivolts, une seconde graduation non indiquée sur la figure, permet d'atteindre 1 900°, par l'emploi d'un petit diaphragme (que l'on glisse dans la lunette munie d'une vanne) visible en E (fig. 27).

La figure 29 représente une vue d'ensemble de l'appareil installé, avec son galvanomètre à cadran, devant un four, dont il s'agit de mesurer la température. Quand il n'est pas possible de laisser dans les parois de ce dernier une ouverture pour viser, il suffit de pointer avec la lunette le fond fermé d'un tube T, placé dans le four et formant moufle, comme le montre la figure.

FÉRY, comparant les résultats fournis par son pyromètre et par le couple de LE CHATELIER, en a obtenu les résultats suivants :

Couple Le Châtelier.	Pyromètre Féry.	Différences p. 100.
844°	860°	+ 1,85
914°	923°	+ 0,34
990°	990°	0

Couple Le Châtelier.	Pyromètre Péry.	Différence p. 100.
1 054°	1 060°	+ 0,60
1 120°	1 120°	0
1 192°	1 190°	— 0,17
1 260°	1 250°	— 0,80
1 328°	1 320°	— 0,60
1 385°	1 380°	— 0,46
1 458°	1 450°	— 0,50

Si l'on fait abstraction de la première mesure faite à une température relativement basse, on voit que la différence reste inférieure à 1 p. 100 en plus ou en moins.]

#### *Pyromètres basés sur des phénomènes acoustiques.*

Aux pyromètres basés sur des *phénomènes acoustiques*, appartient le **thermophone de Wiborgh**. Cet instrument consiste en une petite capsule métallique close contenant une petite quantité d'une substance explosible, faisant explosion à une température fixe et qui est enfermée dans un petit cylindre en matière réfractaire. Si l'on expose ce dernier à la température qu'il s'agit de mesurer, la matière explosive est chauffée au bout d'un temps déterminé à la température d'explosion et détonne en produisant un léger bruit. Le temps qui s'est écoulé jusqu'au moment de l'explosion est la mesure de la température. Pour les hautes températures, il est très court, de sorte qu'il faut déterminer exactement même les fractions de seconde pour avoir une indication exacte de la température. C'est pour cela qu'il est convenable d'avoir des thermophones de différentes grandeurs appropriées aux différentes températures.

Comme les thermophones sont détruits par l'explosion, un appareil ne peut servir que pour une seule observation.

#### *Pyromètres fondés sur l'électricité.*

Parmi les pyromètres qui doivent indiquer la température à l'aide de l'électricité, nous mentionnons les pyromètres à résistance et les pyromètres thermo-électriques.

Le **pyromètre à résistance de Siemens** repose sur la résistance de plus en plus grande que le courant galvanique traversant des fils métalliques éprouve à mesure que s'élève la température.

Cette résistance ne croît pas proportionnellement à la température ; sa variation avec la température peut cependant, d'après les recherches de C.-W. SIEMENS, être exprimée par la formule suivante :

$$R = \alpha T^{1/2} + \beta T t + \gamma,$$

dans laquelle R indique la résistance, T la température absolue = 273 + t (t = la température observée),  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  des coefficients, qui dépendent de la nature du métal. SIEMENS emploie comme conducteur du courant pour

les hautes températures du platine très pur, parce que avec le platine dont la pureté n'est pas complète on obtient des résultats inexacts.

Le courant, qui est produit par 6 éléments, est divisé en deux branches par SIEMENS. Il fait passer une des branches du courant à travers la source de chaleur dont la température doit être mesurée et l'autre branche à travers une résistance de grandeur connue. Il mesure ensuite, au moyen d'un voltamètre, l'intensité de chaque branche du courant. Maintenant, comme les intensités de courant dans les deux branches sont en raison inverse des résistances qui s'y trouvent, si l'on représente par  $W^1$  la résistance dans l'une des branches du courant, par  $W^2$  celle dans la deuxième branche et par  $V^1$  l'intensité, mesurée par le voltamètre, de l'une des branches du courant et  $V^2$  celle de l'autre branche, on a :

$$\frac{V^1}{V^2} = \frac{W^2}{W^1} .$$

La résistance *connue* que traverse une branche du courant est une résistance en argentan de 17 unités Siemens. (L'unité Siemens est égale à la résistance qu'éprouve le courant électrique passant à travers une colonne de mercure de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre carré de section.)

La *résistance cherchée* X est celle du fil de platine qui est exposé à la température à mesurer. A 0°, la résistance de ce dernier est égale à 10 unités Siemens. En outre, la résistance dans chacun des fils conducteurs de l'instrument s'élève à 2 unités Siemens et dans chacun des voltamètres à 1 unité Siemens. Par conséquent :

$$\frac{V^1}{V^2} = \frac{W^2}{W^1} = \frac{X + 2 + 1}{17 + 2 + 1}$$

et

$$X = 20 \left( \frac{V^1}{V^2} - 3 \right) .$$

Avec la résistance ainsi déterminée, on peut trouver la température cherchée T, à l'aide de la formule donnée plus haut :

$$R = \alpha T^{1/2} + \beta Tt + \gamma .$$

Dans cette formule :

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,039369 \\ \beta &= 0,00216407 \\ \gamma &= 0,24127. \end{aligned}$$

Pour arriver à une détermination plus rapide de la température, on a dressé une table, dans laquelle on peut lire immédiatement la température qui correspond aux quantités du gaz tonnant dégagé dans les deux voltamètres.

Le fil de platine qui doit être exposé à la température à mesurer est enroulé sur un cylindre en terre de pipe, à la surface duquel est taillée une double hélice servant à le recevoir (fig. 30). Le cylindre en terre est

entouré d'une enveloppe en platine, qui de son côté est placée dans un tube en fer doux fermé par soudage à son extrémité inférieure. L'enveloppe en platine et le tube de fer sont séparés par une couche d'amiante.



Fig. 30. — Pyromètre électrique à résistance de Siemens; portion du tube en fer contenant le fil de platine.

Les extrémités du fil de platine sont reliées l'une avec un fil de platine plus gros, l'autre avec deux fils de même métal également plus gros, de sorte que lors du passage du courant électrique il se produit un courant dérivé, qui est dirigé vers la résistance en argentan mentionnée précédemment. Ces deux derniers fils sont soudés dans le milieu du long tube à des fils de cuivre. Les trois fils en question aboutissent chacun à une vis de pression à l'extrémité du tube. Un fil de cuivre isolé est relié à chacune des vis de pression  $k$ ,  $k^1$  et  $k_2$  (fig. 31).

Ces fils de cuivre sont mis en communication avec la batterie et les voltamètres, de façon que l'une des branches du courant exposée à la chaleur passe par l'un des voltamètres A, l'autre branche par l'autre voltamètre B, après avoir traversé la résistance en argentan  $n$ . Entre la batterie et les voltamètres,

se trouve un commutateur G, dont les bornes sont désignées par  $s$ ,  $t$ ,  $u$  et  $v$ , et qui lorsqu'on se sert de l'instrument doit être manœuvré toutes les 10 secondes, afin d'éviter une polarisation inégale.

A l'aide de ce pyromètre, on peut effectuer des mesures assez exactes, lorsqu'il ne s'agit pas de très hautes températures; il a cependant l'inconvénient d'être d'un prix élevé et d'un maniement difficile; en outre, la batterie et les voltamètres sont fragiles et la mise au point de l'appareil, la lecture des volumes de gaz dégagés, le calcul de la résistance et la recherche de la température correspondante d'après la table constituent des opérations très compliquées pour la pratique.

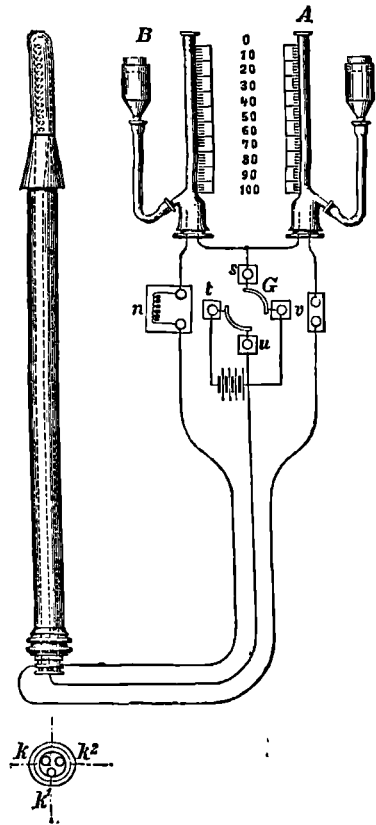


Fig. 31. — Pyromètre électrique à résistance de Siemens.

Dans un autre pyromètre à résistance de SIEMENS, le courant produit par une batterie sèche est divisé en deux courants dérivés, dont l'un est dirigé comme il été dit précédemment vers la source de chaleur à mesurer, et les deux branches du courant agissent sur un galvanomètre. La résistance des deux branches de courant étant égale, il n'y aura pas de déviation de l'aiguille du galvanomètre, mais il s'en produira une si par le chauffage du conducteur de l'un des circuits la résistance de ce dernier est augmentée. Si maintenant l'aiguille doit être ramenée au zéro, on intercale dans le circuit non chauffé, au moyen d'un rhéostat à chevilles, un nombre de résistances égal à l'augmentation de la résistance du circuit chauffé. La température correspondant à cette résistance est lue sur une table accompagnant l'appareil.

Le pyromètre à résistance de HARTMANN et BRAUN repose sur les mêmes principes.

D'après HOLBORN et WIEN, les pyromètres à résistance ne seraient plus convenables pour les très hautes températures, parce qu'on ne possède aucune matière qui puisse alors être encore isolée suffisamment.

Les pyromètres thermo-électriques ne présenteraient pas cet inconvénient, parce que par suite de la très faible tension électrique, les exigences relatives à l'isolement n'ont qu'une faible importance.

Parmi les **pyromètres thermo-électriques**, nous mentionnerons le pyromètre de SIEMENS et HALSKE et le pyromètre de LE CHATELIER. Le premier ne peut être employé que pour la mesure de basses températures (jusqu'à 600°), tandis qu'avec l'appareil de LE CHATELIER on peut aussi mesurer de hautes températures (jusqu'à 1 600°).

Il se produit, comme on le sait, un courant thermo-électrique dans un circuit composé de deux métaux reliés entre eux, si des deux points de réunion l'un est chauffé, tandis que l'autre reste froid. L'intensité du courant croît avec la différence de température des deux points de réunion.

Les pyromètres thermo-électriques sont fondés sur les deux faits suivants : on peut déterminer d'après l'intensité du courant thermo-électrique la différence de température des deux métaux ou alliages et, en mesurant la température du point de réunion non chauffé, on déduit la température du point chauffé, en ajoutant simplement à la première la différence de température déterminée par l'intensité du courant.

Dans le *pyromètre thermo-électrique de SIEMENS*, les métaux reliés entre eux sont le fer et le nickel. La disposition de l'appareil est représentée par les figures 32 et 33. Ce dernier possède deux éléments thermo-électriques A et B. Chacun d'eux se compose d'un tube en fer *e*, fermé à l'extré-

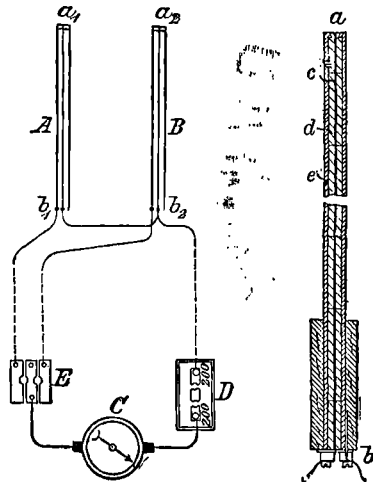


Fig. 32. — Pyromètre thermo-électrique de Siemens-Halske.

Fig. 33. — Couple thermo-électrique de Siemens-Halske.

mité supérieure *a* (fig. 33); à l'extrémité de ce tube fermé supérieurement avec du fer, est soudé intérieurement un fil en argentan *c*, qui occupe l'axe du tube et est séparé de la paroi de celui-ci par un petit tube d'argile *d*, servant de matière isolante. A l'extrémité inférieure ouverte *b* de chaque tube se trouve une armature en bois avec deux bornes. L'une de ces bornes est reliée à la paroi du tube, l'autre au fil en argentan. L'un des points de réunion du fer et de l'argentan est d'après cela à l'extrémité *a* du tube, l'autre à l'extrémité *b* de ce dernier. Dans le circuit sont intercalés une

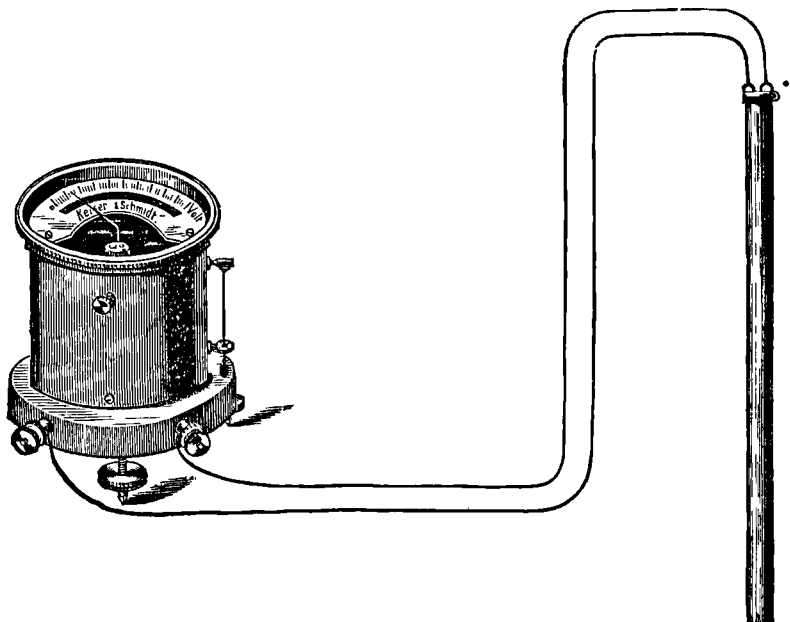


Fig. 34. — Pyromètre thermo-électrique de Le Châtelier avec galvanomètre.

boîte de résistance *D*, un commutateur à cheville *E* et un galvanomètre à miroir *C*. Si maintenant on expose l'extrémité *a* du tube à l'action de la source de chaleur, la déviation de l'aiguille du galvanomètre indique la différence de température entre le point chauffé *a* et l'extrémité du tube *b*. Maintenant, à l'aide d'un thermomètre, on mesure la température de l'extrémité *b* du tube et ajoute celle-ci à la différence de température trouvée, et obtient de cette façon la température de la source de chaleur.

Le *pyromètre thermo-électrique* de LE CHATELIER est maintenant fréquemment employé pour la mesure des hautes températures. Pour produire le courant thermo-électrique, ce savant se sert, d'une part, de platine pur, d'autre part, d'un alliage composé de platine chimiquement pur avec 10 p. 100 de rhodium. Les deux corps sont employés sous forme de fils. Le point de réunion du platine et du platine-rhodium est fondu de façon à former une petite sphère de 1 millimètre de diamètre, tandis que les extrémités



des fils non réunies entre elles par fusion sont en communication avec un galvanomètre. Ce pyromètre est construit en Allemagne par W. C. HERAEUS, à Hanau, et par la SOCIÉTÉ KAISER UND SCHMIDT, à Berlin. Chaque élément est muni par les constructeurs d'une table qui indique les températures correspondant aux déviations du galvanomètre.

La longueur du fil de platine s'élève, de même que celle du fil de platine-rhodium, à 1,5 mètre et leur diamètre à 0,6 millimètre. Les extrémités des deux fils peuvent, au lieu d'être reliées par fusion (soudure autogène), être tortillées ensemble et serrées fortement l'une contre l'autre. La résistance extérieure des fils de l'élément thermo-électrique conduisant au galvanomètre ne doit pas dépasser 1 ohm, cela est indispensable.

La figure 34 représente une vue extérieure du pyromètre. Le galvanomètre a deux échelles, sur lesquelles se meut une seule aiguille. Sur l'une

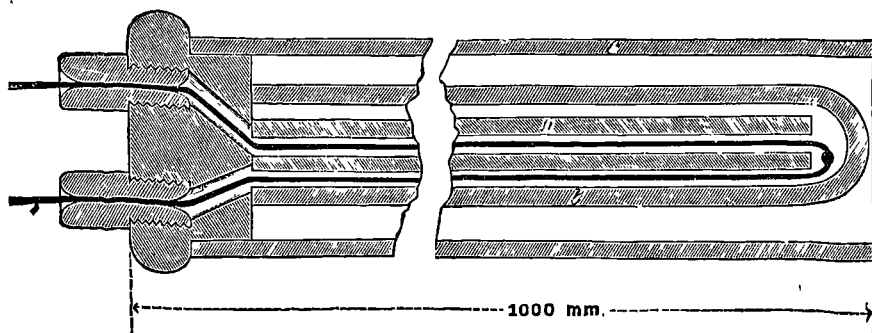


Fig. 35. — Couple thermo-électrique de Le Chatelier.

de ces échelles est indiquée, en volts, la force électromotrice, tandis que sur l'autre on peut lire directement le degré de la température cherchée. Lorsqu'il s'agit d'effectuer une détermination, on expose à la température à mesurer la petite sphère de 1 millimètre de diamètre qui se trouve aux extrémités soudées des fils. Afin de la protéger contre l'action du feu du foyer et des corps formant des combinaisons avec le platine, on la dispose avec les fils dans un tube en porcelaine. Un autre tube également en porcelaine sert pour isoler les fils l'un de l'autre. Dans la figure 35, *b* est le tube protecteur, *a* le tube servant à l'isolement des fils ; *c* est un tube en fer destiné à protéger le tube en porcelaine.

Les deux bornes adaptées au galvanomètre sont désignées par les signes + et —. A la borne + est fixé le fil de platine-rhodium et à la borne — le fil de platine. Vers la partie supérieure de l'appareil se trouve un bouton permettant d'amener l'aiguille sur le point zéro de l'échelle.

On peut avec le galvanomètre effectuer des mesures de 500 à 1500°. Pour de plus hautes températures, on peut aussi construire des instruments dont l'échelle va jusqu'à 1600°. Dans ce cas, l'élément thermo-électrique doit être protégé par des dispositifs particuliers en métal difficilement fusible. Les points de réunion du platine et de l'alliage platine-rhodium avec les fils conduisant au galvanomètre ne doivent pas dépasser beaucoup la température de l'appartement. La longueur des fils constituant l'élément

doit être telle que les points de soudure conservent aussi cette température sans un refroidissement particulier, autrement, il faut déterminer la température dépassant celle de l'appartement et en tenir compte.

[Tel que le construit P<sup>II</sup>. PELLIN, ingénieur à Paris, le couple thermo-électrique de LE CHATELIER est représenté en coupe par la figure 36. La jonction des fils est faite par une torsade, dont l'extrémité est soudée à la soudure autogène par fusion au moyen du chalumeau à gaz oxydrique. Comme le dispositif précédent, les fils du couple sont isolés sur toutes leur longueur par des cylindres en terre réfractaire et ces cylindres sont renfermés dans une canne en fer. La soudure dépasse les isolants et cette dernière de 5 centimètres environ; de petits tubes en porcelaine servent à protéger la soudure. L'autre extrémité de la canne en fer porte une poignée en bois, sur laquelle se trouvent extérieurement les bornes de prise de courant et intérieurement deux pinces qui limitent

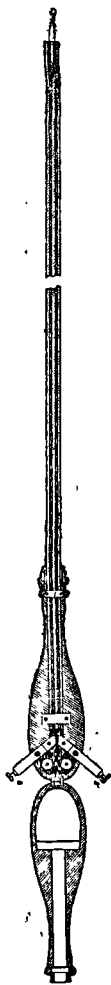


Fig. 36. — Pyromètre thermo-électrique de Le Châtelier-Pellin; coupe longitudinale.

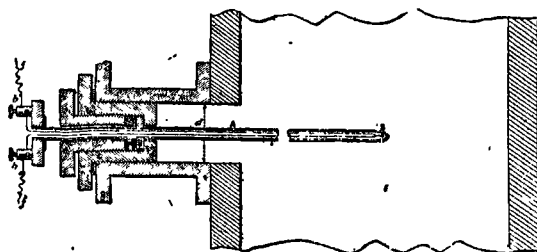


Fig. 37. — Pyromètre thermo-électrique de Le Châtelier-Pellin disposé dans un courant d'air chaud.

la longueur du couple, ainsi que deux poulies, sur chacune desquelles est enroulée une longueur supplémentaire de fils du couple, ce qui permet d'en faire sortir une nouvelle quantité en cas d'avarie de la soudure.

Lorsque le couple thermo-électrique doit être placé à demeure dans un courant d'air chaud, on le dispose comme le montre la figure 37. La soudure, les fils du couple isolés par une torsade d'amiante, sont placés dans un tube en fer A, fermé à une de ses extrémités, de manière à éviter toute action réductrice ou oxydante. Ce tube porte à une distance convenable du côté de l'extrémité ouverte, une bague en fer B, qui est maintenue par un presse-étoupe C, qu'on peut fileter extérieurement et fixer sur la tubulure fileté D de la conduite d'air chaud. Les extrémités du couple constituant les pôles sont réunies à deux bornes *b, b'*, mises en communication au moyen de fils avec les bornes du galvanomètre.

Le galvanomètre à lecture directe construit par PELLIN pour le couple

thermo-électrique de LE CHATELIER est représenté par la figure 38. C'est un instrument robuste, établi pour les usages industriels. Il se compose d'un grand aimant A, en acier au tungstène, ayant la forme d'un fer à cheval, monté sur un bâti rectangulaire BB'. La partie supérieure de l'aimant porte un trou lisse dans lequel se meut un manchon à bouton moleté C, percé en son centre d'un trou fileté, dans lequel tourne la tige d'un deuxième bouton D. Ce dernier porte à sa partie inférieure un crochet, auquel est fixé et soudé un long fil de platine *f*, de 0,1 millimètre, laminé à 0,02 millimètre ; ce fil, qui est en communication avec la masse et qui constitue un pôle, sert

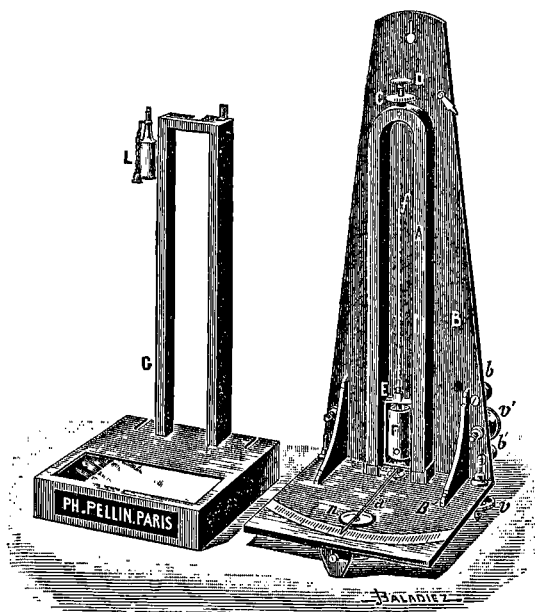


Fig. 38. — Galvanomètre pyrométrique à lecture directe de Le Châtelier-Pellin.

de support à un cadre mobile E, constitué par un enroulement de fils de maillechort de 0,2 millimètre ; il sert également de conducteur, étant réuni à l'extrémité de la bobine en fils de maillechort. L'autre extrémité du fil du cadre est reliée à une spirale en platine de 0,05 millimètre, logée dans l'intérieur d'un cylindre en fer doux F, pour éviter les variations de température. Ce fer doux, isolé de la masse, est en communication avec la borne également isolée constituant le second pôle de l'appareil.

Le cadre mobile tend, sous l'action du courant du couple, à se mettre perpendiculaire à celui de l'aimant, la torsion du fil de suspension s'oppose en partie à l'action du courant et ce cadre s'arrête dans une position d'équilibre, qui dépend de la force du courant et de la valeur du couple de torsion.

Une aiguille en aluminium *a*, fixée à la partie inférieure du cadre, se meut devant des divisions de 0 à 180 et peut indiquer la température de 0 à 1000° ou de 0 à 1800° pour la course totale de l'échelle, suivant que

les fils du couple sont reliés aux bornes n<sup>os</sup> 1 et 2 ou n<sup>os</sup> 1 et 3. (Le fil de *platine* doit toujours être attaché à la borne n<sup>o</sup> 1 et le fil de *platine rhodié* à la borne n<sup>o</sup> 2 ou à la borne n<sup>o</sup> 3, suivant l'intensité de la température à mesurer.) Un cadre à glaces G est placé sur le galvanomètre, afin de protéger l'aiguille *a* contre les courants d'air. Une lampe L facilite la lecture des divisions de l'échelle.

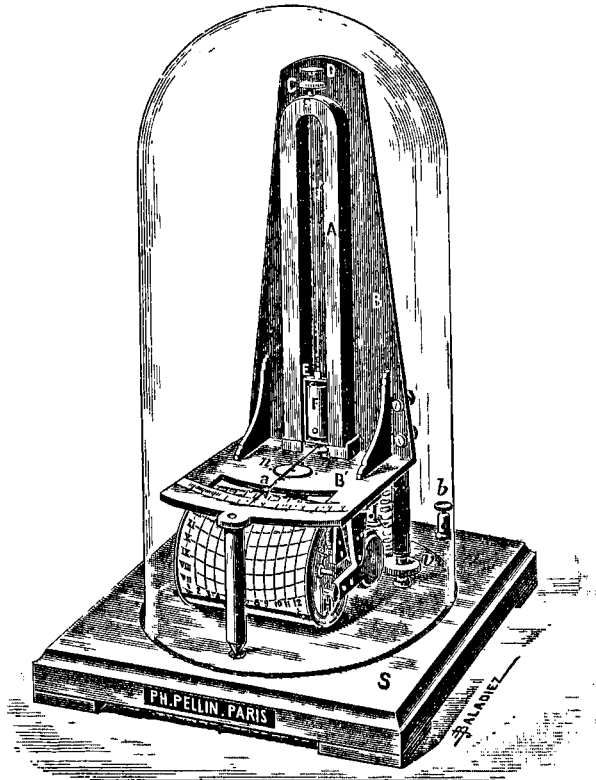


Fig. 39. — Galvanomètre pyrométrique enregistreur de Le Châtelier-Pellin.

PELLIN a également construit pour le couple thermo-électrique de LE CHATELIER un *galvanomètre enregistreur*.

Cet appareil (fig. 39) offre une disposition analogue à celle du précédent. Sous la platine horizontale B', se trouve suspendu et parfaitement équilibré un mouvement d'horlogerie à échappement à ancre, portant un tambour en aluminium, qui reçoit les feuilles de papier pour l'enregistrement; ce tambour fait un tour complet en vingt-quatre heures et son mouvement d'horlogerie se monte tous les quinze jours. Une came actionnée par ce dernier met au contact pendant vingt-cinq à trente secondes le tambour avec l'encrier porté par l'aiguille du galvanomètre, puis l'en éloigne rapidement. Ce contact a lieu toutes les quatre minutes, et la figure inscrite sur le papier est une série de points; quinze points

sont donc tracés pendant une heure représentée par 13 millimètres de course du tambour; on a par suite un point tous les 0,8 millimètre. L'enregistrement est très régulier. L'appareil est d'un maniement facile. Il peut également fonctionner à lecture directe; il suffit d'arrêter le mouvement d'horlogerie (en tournant le bouton H sur l'indication *arrêt*), lorsque le tambour est retombé après une inscription.

Parmi les résultats des déterminations faites par LE CHATELIER, à l'aide de son pyromètre thermo-électrique, dans un certain nombre d'appareils industriels, nous donnerons ceux qui se rapportent au *four à acier* de MARTIN-SIEMENS :

Gaz à la sortie du gazogène . . . . .	720°
Gaz à l'entrée du récupérateur . . . . .	400
Gaz à la sortie du récupérateur . . . . .	1200
Air à la sortie du récupérateur . . . . .	1000
Intérieur du four pendant l'affinage. . . . .	1550
Fumée au pied de la cheminée. . . . .	300

Des dispositifs basés sur le même principe ont également été construits par CARPENTIER et par DESPREZ et d'ARSONVAL.

Les pyromètres thermo-électriques ont l'avantage de donner des indications immédiates, et ils permettent de suivre des variations de températures rapides, la masse de la soudure étant insignifiante.]

*Pyromètres fondés sur la transmission de la chaleur à des liquides.*

Plusieurs pyromètres sont basés sur ce fait, que la chaleur d'un corps chauffé se dissémine dans un autre corps de façon à pouvoir être mesurée au moyen du thermomètre à mercure. Les meilleurs instruments sont ceux qui transmettent la chaleur d'un corps chauffé à la température à mesurer à une grande masse d'eau. Des pyromètres de cette espèce ont été imaginés par SIEMENS, SALLERON-DÉMICHEL, FISCHER et WEINHOLD.

Les corps exposés à la source de chaleur sont des cylindres ou des sphères en cuivre, en fer, en nickel ou en platine. On introduit ces corps dans des vases cylindriques en cuivre ou en laiton, bien isolés et contenant une quantité d'eau déterminée, dans laquelle se dissémine la chaleur du corps chauffé, que l'on peut ensuite mesurer à l'aide du thermomètre. On donne à ces instruments le nom de **calorimètres**. Si maintenant on connaît la valeur en eau de l'instrument et du corps solide plongé dans l'eau (après son exposition à la chaleur), ainsi que la température de l'eau avant et après l'immersion du corps, on peut calculer la température.

Si, par exemple, le vase (le calorimètre) est en cuivre et si le corps à exposer à la source de chaleur est un petit cylindre en fer, on trouve comme il suit la température cherchée.

Si T est la température cherchée,  $t_1$  la température du calorimètre avant l'immersion dans l'eau du cylindre en fer chauffé,  $t^2$  la température après l'immersion du cylindre dans l'eau, W la valeur en eau du calorimètre,  $W^1$  la valeur en eau du cylindre en fer, on a

$$W(t^2 - t^1) = W^1(T - t^2)$$

ou

$$T = \frac{(W + W^1) t^2 - W t^1}{W^1} .$$

$W$  est égal au poids ( $g$ ) de la partie en cuivre du calorimètre multiplié par la chaleur spécifique ( $s$ ) du cuivre, plus le poids de l'eau contenue dans le calorimètre ( $g^1$ ) multiplié par la chaleur spécifique de celle-ci (= 1) ou :

$$W = g.s + g^1 . 1 .$$

$W^1$  est égal au poids du cylindre de fer ( $g^2$ ) multiplié par la chaleur spécifique du fer ( $s^2$ ) ou

$$W = g^2 s^2 .$$

Mais la chaleur spécifique varie avec la température, en augmentant, à mesure que celle-ci s'élève dans la proportion suivante, d'après WEINHOLD,

$$s^2 = 0,105907 + 0,00006538 t + 0,00000006477 t^2 .$$

On a généralement une table pour  $s^2$  aux différentes températures, de sorte qu'avec la formule mentionnée plus haut, on peut facilement calculer la température.

Il ne faut pas oublier qu'en calculant la température de cette façon que, par suite du rayonnement, il est cédé à l'air une partie assez grande de la chaleur, de sorte que la température ainsi déterminée est trop basse.

Le calorimètre de F. Fischer<sup>1</sup> est représenté par la figure 40. Il se compose d'un cylindre  $a$  en tôle de cuivre mince, de 50 millimètres de diamètre, qui est suspendu dans une boîte en bois  $b$ . L'espace entre le cylindre en cuivre et la boîte en bois est rempli d'amiante à longues fibres ou de

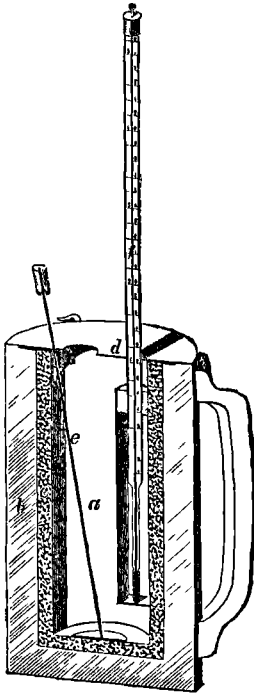


Fig. 40. — Calorimètre de Fischer.

laine de verre. Sur l'appareil se trouve un couvercle en laiton  $d$ , qui est muni d'une petite ouverture pour le passage d'un thermomètre, d'une ouverture plus grande pour l'introduction du corps chauffé, consistant en un cylindre en fer doux, et d'un agitateur  $e$ . Les cylindres en fer doux ( $h$ , fig. 41) ont 12 millimètres de diamètre, 20-22 millimètres de hauteur et pèsent 20 grammes environ. On les expose à la température à mesurer dans un vase en fer  $g$ , muni d'un manche et d'une poignée en bois, on les projette ensuite dans le calorimètre, dont la température a été préalablement déterminée, et on fait mouvoir l'agitateur, qui est en cuivre et est fixé à une baguette de verre, jusqu'à ce que la température ne monte plus (ce

<sup>1</sup> Voy. FISCHER, *Manuel pour l'essai des combustibles et le contrôle des appareils de chauffage*, édit. française par L. GAUTIER, p. 15, Paris, CH. BÉRANGER, éditeur.

qui a lieu au bout d'une minute). La température est ensuite calculée comme il a été dit plus haut.

Dans ces derniers temps, FISCHER a fait subir certains perfectionnements au support destiné à recevoir le cylindre perforé, ainsi qu'au calorimètre lui-même.

Le support du cylindre est une pièce en fer doux creuse, avec ouverture *v*, (fig. 42 et 43) permettant d'y introduire le corps à chauffer.

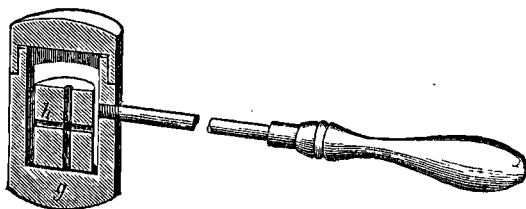


Fig. 41. — Calorimètre de Fischer; appareil pour le chauffage des cylindres.

A une des extrémités du support est vissé un manche *b* avec poignée en bois *f*. Afin de préserver la main de l'opérateur contre la chaleur du foyer, il y a entre le manche *b* et la poignée *f* un disque de carton d'amiante *d*, qui est serré au moyen de *f* contre la pièce métallique *c*.

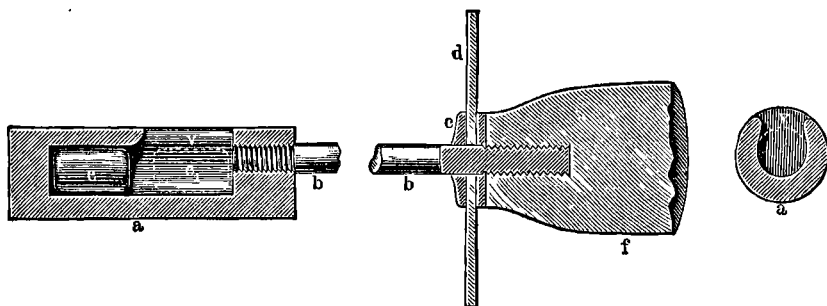


Fig. 42 et 43. — Calorimètre de Fischer; nouveau dispositif pour le chauffage des cylindres.

Le vase extérieur du calorimètre est en laiton et est muni intérieurement d'un revêtement en carton d'amiante. Au-dessus du fond du vase intérieur, est adapté un double fond perforé, qui empêche que le cylindre métallique projeté dans l'eau ne vienne toucher le fond proprement dit du vase et donne ainsi lieu à des pertes de chaleur<sup>1</sup>.

Le calorimètre de Weinhold est en tôle mince de laiton et contient 1 litre. Il est cylindrique supérieurement et fortement conique inférieurement. Le vase en laiton est entouré d'un vase en fer blanc. Les corps destinés à absorber la chaleur de la source sont des sphères en fer perforées suivant deux diamètres perpendiculaires et du poids de 60-80 grammes.

<sup>1</sup> Voy. FISCHER, *loc. cit.*, p. 16.

Après l'immersion du corps chauffé, l'eau est agitée à l'aide d'une roue à ailettes. Les sphères chauffées sont projetées dans un panier en fil de laiton, qui s'enfonce dans le calorimètre.

Le calcul de la température est effectué comme avec le calorimètre de FISCHER.

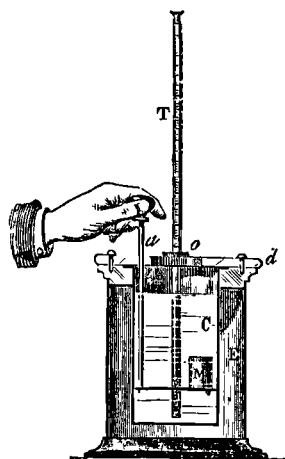


Fig. 44. — Calorimètre de Salleron-Démichel.

[Le calorimètre de Salleron-Démichel consiste en un vase cylindrique (fig. 44), en cuivre rouge, ouvert supérieurement et renfermé dans une enveloppe en laiton E, sur laquelle il repose par l'intermédiaire d'un anneau en bois d. Le vase C est séparé de E par une épaisse couche d'air, afin de diminuer le plus possible les pertes de chaleur. Pour la même raison, l'orifice de C est fermé presque complètement par un couvercle en bois muni d'un trou a servant pour introduire dans l'appareil un poids d'eau déterminé (500 gr.) et un cylindre en nickel m du poids de 100 grammes, que l'on a exposé dans le milieu dont on veut déterminer la température, en l'y maintenant à l'aide d'une pièce de fer munie d'une cavité à l'une de ses extrémités et pourvue à l'autre d'un manche en bois. Le cylindre chauffé tombe sur un agitateur, que l'on fait mouvoir au moyen de la tige a,

afin de mélanger bien uniformément le liquide. Le thermomètre T sert à déterminer la température de l'eau avant et après l'immersion du cylindre M. Le calcul de la température est effectué comme il a été dit précédemment et à l'aide des tables dressées pour cet usage <sup>1</sup>].

### 3. — Combustibles proprement dits.

On distingue les combustibles proprement dits en combustibles naturels et combustibles artificiels.

Les combustibles qui se rencontrent dans la nature sont : le bois, la tourbe, le lignite, la houille, les hydrocarbures liquides et gazeux. Les combustibles préparés artificiellement sont : le charbon de bois, le charbon de tourbe, le coke, les gaz de carbonisation, les gaz de gazogènes et le gaz à l'eau.

Nous allons dans les pages suivantes étudier ces combustibles avec tous les détails nécessaires ; nous examinerons aussi le mode de préparation des combustibles artificiels, ainsi que les dispositifs en usage pour brûler ces deux sortes de corps.

#### A. — Combustibles naturels.

On distingue les combustibles naturels en combustibles solides, liquides et gazéiformes. Aux combustibles solides appartiennent le bois, la tourbe,

<sup>1</sup> Voy. FISCHER, *loc. cit.*, p. 22.



le lignite et la houille; aux combustibles liquides le pétrole; aux combustibles gazeux certains hydrocarbures se dégageant de la terre par des fentes naturelles ou des trous de soude.

a. — COMBUSTIBLES SOLIDES

Parmi les combustibles solides, le bois représente des portions d'espèces végétales vivantes, tandis que la tourbe, le lignite et la houille proviennent de la *décomposition* de plantes à l'abri complet ou partiel du contact de l'air. Le plus jeune produit de cette décomposition est la tourbe; vient ensuite le lignite, puis la houille. L'espèce de houille la plus ancienne servant de combustible est l'antracite. Les éléments principaux de ces combustibles sont l'oxygène et le carbone. Le rapport de l'hydrogène à l'oxygène est pour le bois (cellulose) comme 8 : 1; ces deux corps sont par conséquent dans la proportion nécessaire pour la formation de l'eau. Dans les autres combustibles, il y a plus d'hydrogène qu'il n'en faut pour former de l'eau, le rapport de l'oxygène à l'hydrogène étant pour la tourbe comme 6 : 1, pour le lignite comme (6-4) : 1, pour la houille comme 3 : 1.

On nomme **hydrogène disponible** la quantité d'hydrogène qui correspond à la différence entre la teneur totale du combustible en ce gaz et la proportion nécessaire pour former de l'eau. Mais on considère comme peu probable que cet hydrogène soit réellement libre. Sa quantité exerce une grande influence sur les propriétés des combustibles, surtout sur les aptitudes à brûler avec flamme et à s'agglutiner. Elle s'élève aux chiffres suivants :

Cellulose . . . . .	0		
Tourbe . . . . .	1,5 — 2	p. 100	
Lignite . . . . .	1,5 — 3,5	»	
Houille . . . . .	2,4 — 4,7	»	

	COMPOSITION du combustible exempt de cendre			POUR 100 parties en poids de carbone il y a : hydrogène		
	C	H	O — Az	Dispo- nible.	Combiné.	Somme.
Cellulose . . . . .	44,44	6,17	49,30	0	138,8	138,8
Bois (chêne). . . . .	50,64	6,03	43,33	12,1	107,0	119,1
Tourbe . . . . .	59,30	5,76	34,94	22,9	74,2	97,1
Lignite . . . . .	57,62	6,06	36,32	26,3	78,8	105,1
Lignite commun . . . . .	67,82	6,10	26,08	44,3	45,6	89,9
Houille jeune du néocomien . . . . .	82,79	5,37	11,84	49,5	15,4	64,9
Houille (flambante) de Saarbrück Houille (charbon à gaz) de la Basse-Silésie . . . . .	75,75	4,87	19,38	32,3	22,3	64,7
Houille (pour coke) de Westphalie	85,13	5,02	9,85	44,5	14,4	59,0
Houille (maigre) d'Aix-la-Chapelle	88,31	5,35	6,34	51,7	9,0	60,7
Anthracite d'Osnabrück . . . . .	90,77	3,70	5,52	33,32	7,6	40,8
	82,00	14,80	3,20	180,5	4,9	185,4

Lorsqu'on chauffe des combustibles à l'abri du contact de l'air, une partie de cet hydrogène se dégage combiné avec du carbone sous forme de différents hydrocarbures (gaz et goudron).

La teneur en carbone, hydrogène et oxygène des combustibles en question, classés d'après leur ordre d'ancienneté, est indiquée dans le tableau de la page 137.

### Bois.

On désigne sous le nom de bois les éléments solides des arbres et des arbrisseaux qui survivent aux vicissitudes des saisons et qui, après la mort des végétaux en question, n'entrent pas immédiatement en décomposition. Les différentes espèces de bois qui sont employées en Europe comme combustibles sont, parmi les bois à feuilles larges : le chêne, le hêtre, le charme, l'orme, le frêne, le bouleau ; parmi les bois à feuilles aciculaires : le sapin, le pin, le pin d'Écosse et le mélèze.

#### *Classification des bois.*

Abstraction faite de la division botanique des bois en bois à feuilles larges et bois à feuilles aciculaires, on les désigne d'après leur poids spécifique en bois durs et bois mous. Les bois dont le poids spécifique à l'état sec (la sève comprise) dépasse 0,55 et à l'état vert 0,90 sont désignés sous le nom de *bois durs* et l'on appelle *bois mous* ou *tendres* ceux dont le poids spécifique est moins élevé.

Aux bois durs appartiennent : le chêne, le hêtre, l'érable, le bouleau, l'aune, le frêne et l'orme ; aux bois tendres : les bois à feuilles aciculaires, le tilleul, le peuplier et le saule.

Suivant la partie de la plante qui l'a fourni, on distingue en outre le bois de tronc, le bois de branches et le bois de racine.

#### *Composition immédiate du bois.*

Le bois se compose de la fibre ligneuse proprement dite ou cellulose, des éléments de la sève et des cendres, qui sont compris sous le nom collectif de *matière incrustante* et d'eau hygroscopique.

#### *Fibre ligneuse ou cellulose.*

Dans toutes les espèces de bois, la fibre ligneuse offre la même composition. Elle se compose de carbone, d'hydrogène et d'oxygène et a pour formule :



Elle contient :

Carbone . . . . .	44,40	p. 100
Hydrogène . . . . .	6,17	—
Oxygène . . . . .	49,39	—

L'oxygène et l'hydrogène se trouvent dans les proportions qui sont nécessaires pour former de l'eau.

Le poids spécifique de la fibre ligneuse des différents bois oscille entre 1,4599 et 1,5344.

*Matière incrustante.*

La matière incrustante se compose de différents corps organiques et inorganiques, qui sont partie dissous dans l'eau, partie en suspension dans celle-ci. Elle forme avec l'eau la *sève végétale*, qui s'épaissit en automne et forme ensuite de nouvelle cellulose. Sans eau, la matière incrustante forme 4 p. 100 de la masse du bois complètement sec. Ses principaux éléments organiques sont les suivants : résine, gomme, matières colorantes, coniférine, acides végétaux et albumine végétale, et elle renferme comme éléments inorganiques : de la chaux, de la magnésie, de la potasse, de la soude, du sesquioxyde de fer, du sesquioxyde de manganèse, de la silice, du chlore, du soufre, de l'acide sulfurique, du phosphore et de l'acide phosphorique.

Les bases sont combinées partie à des acides inorganiques, partie à des acides végétaux.

Lorsqu'on brûle le bois, les éléments inorganiques de la matière incrustante restent et forment, avec l'acide carbonique produit lors de la combustion de ses éléments organiques, le résidu désigné sous le nom de *cendre*. La teneur en cendre du bois va jusqu'à 3 p. 100, mais elle ne s'élève en grande moyenne qu'à 1 p. 100. Dans l'écorce, les feuilles, le bois de branches et dans les parties fibreuses des racines, elle est plus grande que dans le bois de tronc. L'élément principal de la cendre est le carbonate de potassium.

D'après MOSER<sup>1</sup>, 100 parties de bois sec contiennent :

	CENDRE	ACIDE sulfurique.	ACIDE phosphorique.	ACIDE silicique.	CHLORE	POTASSE	SOLDE	CHAUX	MAGNÉSIE
Marronnier d'Inde. . . . .	2,80	»	0,59	0,02	0,04	0,55	»	1,43	0,15
Hêtre. . . . .	0,50	0,01	0,03	0,03	»	0,09	0,02	0,31	0,06
Chêne . . . . .	0,50	0,01	0,03	0,01	»	0,05	0,02	0,37	0,02
Mélèze . . . . .	0,27	0,01	0,01	0,01	»	0,04	0,02	0,07	0,07
Pin d'Ecosse . . . . .	0,26	0,01	0,02	0,04	»	0,03	0,01	0,13	0,02
Bouleau . . . . .	0,26	»	0,02	0,01	»	0,03	0,02	0,15	0,02
Sapin. . . . .	0,24	0,01	0,01	0,02	»	0,04	0,02	0,12	0,01
Pin. . . . .	0,21	0,01	0,01	0,01	»	0,01	0,06	0,10	0,01

La cendre des différents bois offre, d'après les analyses de BERTHIER, la composition suivante :

<sup>1</sup> MOSER, *Chemie für Land-und Forstwirte*. Wien 1870.

	TILLEUL	BOULEAU	AUNE	SAPIN	PIN
Acide carbonique. . . . .	38,71	28,76	25,17	24,93	35,66
Acide sulfurique . . . . .	0,81	0,37	1,24	0,80	1,67
Acide phosphorique. . . . .	2,51	3,61	6,25	3,14	0,91
Acide chlorhydrique . . . . .	0,19	0,03	0,06	0,08	»
Acide silicique . . . . .	1,97	4,78	4,06	6,23	4,19
Potasse et soude . . . . .	6,55	12,72	»	16,80	7,94
Chaux . . . . .	46,35	43,85	40,76	29,72	38,51
Magnésie . . . . .	1,79	2,52	2,03	3,28	9,56
Sesquioxyde de fer . . . . .	0,09	0,42	2,92	10,53	0,09

### Eau hygroscopique.

L'eau hygroscopique constitue avec les éléments de la sève et de la cendre la *sève* du bois.

La teneur des bois en eau hygroscopique est très variable ; elle varie avec l'espèce du bois, la saison, le terrain et l'âge du bois, ainsi qu'avec les différentes parties de l'arbre.

Au printemps et en été, la teneur en sève, et par suite aussi la teneur en eau du bois, est plus grande qu'en automne et en hiver. En outre, dans les bois tendres, les bois jeunes, les bois qui se sont développés dans des terrains gras, elle est plus grande que dans les bois durs ou dans les bois vieux et qui proviennent de terres maigres. Le bois de la cime d'un arbre est plus riche en sève que le bois du tronc du même arbre.

La teneur en eau hygroscopique des bois abattus a été déterminée par SCHÜBLER et NEUFFER, qui ont obtenu les résultats suivants :

Charme . . . . .	18,6 p. 100	Hêtre. . . . .	39,7 p. 100
Bouleau . . . . .	30,8 —	Aune. . . . .	41,6 —
Chêne rouvre. . . . .	34,7 —	Tremble . . . . .	43,7 —
Saule . . . . .	26,0 —	Orme. . . . .	44,5 —
Erable. . . . .	27,0 —	Sapin rouge . . . . .	45,2 —
Frêne . . . . .	28,7 —	Tilleul . . . . .	47,1 —
Chêne pédonculé. . . . .	35,4 —	Peuplier . . . . .	48,2 —
Sapin du Nord . . . . .	37,1 —	Mélèze . . . . .	48,6 —
Sapin ordinaire. . . . .	39,7 —	Saule blanc. . . . .	50,6 —

Le bois fraîchement abattu perd à l'air une partie de son eau par évaporation. Sa teneur en eau s'abaisse ainsi à 20 p. 100 en moyenne. Le bois est dit alors *séché à l'air*.

La quantité d'eau que le bois perd jusqu'à ce qu'il soit arrivé à cet état, s'élève à 36-44 p. 100 de son poids au moment de l'abatage.

Si l'on chauffe le bois à 125-140°, il perd toute son eau hygroscopique. Le bois est alors appelé *bois torréfié*. Si l'on élève encore plus la température, la substance ligneuse se décompose.

Le bois séché à l'air, aussi bien que le bois torréfié, sont hygroscopiques.

piques. Cette propriété est due à l'attraction capillaire des cellules du bois et à l'attraction de l'eau par les sels et les substances extractives contenus dans la matière incrustante.

*Composition élémentaire du bois.*

Si l'on fait abstraction de la teneur en cendre, le bois offre la composition élémentaire suivante :

a. Bois complètement sec :

Carbone . . . . .	50 p. 100
Oxygène . . . . .	44 —
Hydrogène . . . . .	6 —

Si l'on admet que l'oxygène et l'hydrogène sont combinés à l'état d'eau, on a :

Carbone . . . . .	50 p. 100
Eau chimiquement combinée . . . . .	50 —

En comprenant la cendre, le bois est composé comme il suit :

Carbone. . . . .	49,5 p. 100
Hydrogène . . . . .	6,0 —
Oxygène . . . . .	43,5 —
Cendre . . . . .	1,0 —

b. Le bois séché à l'air avec 20 p. 100 d'eau hygroscopique offre, si l'on fait abstraction de la cendre, la composition suivante :

Eau hygroscopique . . . . .	20 p. 100
Carbone . . . . .	40 —
Eau chimiquement combinée . . . . .	40 —

CHEVANDIER <sup>1</sup> a obtenu dans ses recherches, sans s'occuper de la teneur en cendre, les résultats suivants pour la composition moyenne du bois de tronc avec l'écorce et ses branches :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Azote.
Sapin ordinaire. . . . .	51,76	6,12	41,36	0,76
Sapin rouge . . . . .	51,63	6,11	41,20	1,06
Saule. . . . .	51,12	6,02	42,00	0,86
Bouleau . . . . .	51,05	6,27	41,84	0,84
Chêne . . . . .	50,42	5,99	42,69	0,90
Aune . . . . .	50,38	6,26	42,54	0,82
Hêtre . . . . .	49,76	6,05	43,31	0,87
Charme. . . . .	49,46	6,08	43,68	0,78

*Poids spécifique.*

Le poids spécifique du bois dépouillé de tout air est égal à 1,48-1,53.

<sup>1</sup> *Comptes rendus*, t. XXIV, p. 269.

Le poids spécifique du bois séché à l'air, dont les pores sont encore remplis d'air, s'élève pour les différents bois aux chiffres suivants :

Bois durs.		Bois mous.	
Hêtre . . . . .	0,77	Sapin ordinaire . . . . .	0,55
Chêne. . . . .	0,71	Sapin rouge . . . . .	0,48
Frêne . . . . .	0,67	Pin . . . . .	0,47
Bouleau. . . . .	0,55	Tilleul. . . . .	0,44
		Peuplier. . . . .	0,39

De la densité du bois dépend sa valeur comme combustible.

Le bois est acheté au volume.

Il est très difficile de déterminer exactement le volume du bois abattu à cause des variations dans le rapport entre la masse du bois proprement dite et les intervalles entre les morceaux de bois entassés les uns sur les autres. Pour les bois fendus et mis en tas, on compte fréquemment  $1/3$  pour les vides et  $2/3$  pour la masse de bois.

On admet comme poids moyen du mètre cube de bois pour :

Les bois durs . . . . .	400-500 kg.
Les bois à feuilles aciculaires . . . . .	300-400 —
Les bois mous à feuilles larges. . . . .	200-300 —

#### Combustibilité.

Le bois séché à l'air s'enflamme à une température moyenne de  $300^{\circ}$ .

Les bois mous, surtout les bois à feuilles aciculaires, sont plus facilement inflammables que les bois durs. Les bois mous brûlent aussi plus rapidement et avec une plus longue flamme que les bois durs.

#### Effet calorifique absolu.

Pour les bois de même degré de siccité, les effets calorifiques, par suite de la même composition chimique, ne sont que peu différents.

D'après les déterminations d'ERHARD, l'effet calorifique absolu, pour le bois complètement sec (ne contenant, par conséquent, pas d'eau hygroskopique) s'élève à 3800 Cal.

Pour le bois avec 20 p. 100 d'eau, l'effet calorifique absolu est égal à 3000-3200 Cal.

Comme l'effet calorifique déterminé par le calorimètre n'est pas atteint dans la pratique (il s'élève tout au plus à 80 p. 100 de l'effet calorifique théorique), il ne devrait pas dépasser en réalité 2500 Cal.

Le pouvoir de vaporisation du bois pour l'eau a été déterminé par BARX, qui a obtenu les résultats suivants :

Il est vaporisé par :

	Bois non desséché.	Bois desséché.
1 kg. de bois de sapin ordinaire . . . . .	3,79 kg. d'eau	5,41 kg. d'eau
1 — de bois de bouleau . . . . .	3,72 — —	4,38 — —
1 — de bois de hêtre. . . . .	3,51 — —	4,11 — —
1 — de bois de chêne . . . . .	3,53 — —	4,58 — —

### *Température de combustion.*

Comme on l'a déjà dit, les nombres donnés pour les températures de combustion sont inexacts. On indique comme température de combustion dans l'air, sans pression, du bois séché à l'air 1122°.

### *Abatage et préparation du bois.*

L'abatage du bois a lieu en hiver, parce que dans cette saison sa sève est épaisse. Les bois abattus sont débités en morceaux à l'aide de la scie et ces derniers, après avoir été fendus en bûches, sont réunis en tas, afin de laisser sécher le bois à l'air. Les tas doivent être disposés de façon qu'ils puissent être traversés par l'air. Le lieu où on les établit doit être aéré et exposé au soleil. Il faut deux ans, ou au moins deux étés, pour que la teneur en eau du bois s'abaisse à 20 p. 100.

Le bois séché à l'air peut être employé pour concentrer et vaporiser des liquides, ainsi que pour les calcinations, les fusions et les volatilisations qui n'exigent pas de hautes températures. Si l'on veut produire avec le bois des températures élevées, il faut en éliminer préalablement son eau hygroscopique par une dessiccation artificielle.

### *Torréfaction du bois.*

Cette dessiccation, dite *torréfaction*, est effectuée à une température de 125-140°. A 125°, le bois perd toute son eau hygroscopique, tandis qu'à 150°, la substance ligneuse commence à se décomposer. C'est pour cela que lors de la dessiccation, on ne dépasse pas la température de 140°.

Le bois torréfié est très hygroscopique et il réabsorbe facilement 13-16 p. 100 d'eau. Il doit pour cette raison être employé aussitôt après la torréfaction.

La torréfaction est fréquemment pratiquée dans des chambres en maçonnerie, où le bois est chauffé au moyen de gaz de foyers ou d'air chaud. Les gaz sont produits uniquement pour la torréfaction dans des foyers particuliers, ou bien ils ont déjà été employés au chauffage de fours ou autres dispositifs (flammes perdues). On met les gaz chauds en contact direct avec le bois à torréfier ou bien on les fait passer à travers des tuyaux disposés dans les chambres, et ces tuyaux envoient alors sur le bois, par rayonnement, la chaleur qu'il reçoivent. Dans le premier cas, les chambres de torréfaction sont précédées d'une chambre plus petite, dite chambre à étincelles, dans laquelle les gaz du foyer sont, au moyen d'air froid, refroidis suffisamment pour que le bois à torréfier ne puisse pas prendre feu. Les gaz sont amenés dans les chambres à torréfaction soit à l'aide du tirage d'une cheminée, soit au moyen d'exhausteurs.

[On peut aussi, et de cette façon on utilise mieux la chaleur, faire circuler le bois, chargé sur des wagonnets, dans de longues galeries ou fours-tunnels, que les gaz chauds traversent en sens inverse; la galerie devra avoir une longueur suffisante pour que les gaz qui en sortent par l'ouverture d'entrée du bois aient une température à peine supérieure à celle de l'air extérieur. Il est convenable de donner à la galerie une cer-

taines pente dans le sens du mouvement du bois et de la munir de deux portes qu'on n'ouvre que pour retirer un wagonnet à l'extrémité inférieure et en introduire un à l'autre extrémité. Si l'on désire refroidir le bois avant de l'extraire du four, on prolonge la galerie au delà du point d'entrée des gaz chauds et dans cette partie non chauffée, on fait arriver un courant d'air, qui refroidit le bois. Les gaz chauds, avant de pénétrer dans la galerie, devront également avoir traversé une chambre à étincelles.

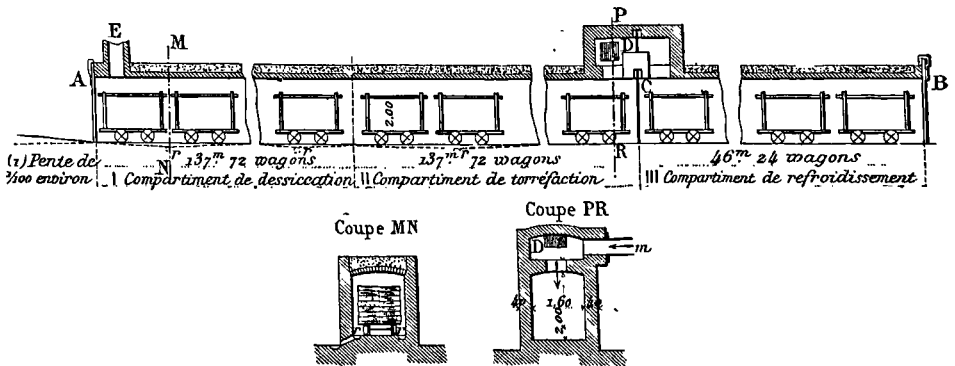


Fig. 45. — Four tunnel pour la dessiccation des bois; coupe longitudinale.

Fig. 46. — Four tunnel; coupe verticale suivant MN (Fig. 45.)

Fig. 47. — Four tunnel; coupe verticale suivant PR (Fig. 45.)

Un pareil dispositif est représenté par les figures 45 à 47. A est la porte de chargement, B la porte de déchargement, C la porte de séparation des compartiments II et III; D est la chambre avec registre pour le mélange des gaz chauds avec l'air venant du compartiment III, E est l'ouverture de sortie des gaz, en communication avec un ventilateur ou une cheminée d'aspiration; *m* est l'entrée des gaz chauds venant du foyer et *r, r* sont des rigoles pour l'évacuation de l'eau de condensation des vapeurs dégagées par le bois.]

#### Tourbe.

La tourbe est un combustible produit par la décomposition de plantes sous l'eau. Bien que le mode de formation de la tourbe ne soit pas encore actuellement complètement élucidé, on sait cependant d'une façon positive que la décomposition des plantes qui produisent la tourbe commence dès que celles-ci sont couvertes par l'eau. La décomposition a lieu, par suite, à l'abri du contact de l'air<sup>1</sup>. Il y a d'abord augmentation de la teneur en carbone et diminution de la teneur en hydrogène des plantes en question, d'où l'on conclut qu'au début il se sépare du méthane et de l'eau. Plus tard, il se dégage aussi de l'acide carbonique. D'après FRÜH<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Bericht der deutsch. chem. Gesellschaft, t. VIII, p. 634; Annalen der Chemie, t. CIX, p. 185; Journal für prakt. Chemie, t. XCXII, p. 65.

<sup>2</sup> J. FRÜH, Torf und Dopplerit, Zürich, 1883.



les principaux produits de la décomposition sont : l'acide ulmique, l'acide tannique, l'humine, ainsi que des sels des deux acides.

A l'exception des champignons, toutes les plantes peuvent participer à la production de la tourbe. Les plantes qui contribuent surtout à la formation de cette matière sont les sphaignes (*Sphagnum* et *Hypnum*), les bruyères (*Calluna vulgaris* et *Erica tetralix*), les ériophores (*Eriophorum vaginatum*, *angustifolium*), les carex (*Carex limosa*, *teretiuscula*, *ampullacea*, *vesicaria*, *pulicaris*, etc.), les scirpes (*Scirpus silvaticus*, *setaceus*, *caespitosus*), les joncs (*Juncus conglomeratus*, *silvaticus*, *filiformis*, etc.), le nard (*Nardus stricta*), le pin diffus (*Pinus pumilio* et *mughus*), la massette (*Typha latifolia* et *angustifolia*), l'acore (*Acorus calamus*), l'iris des marais (*Iris pseudoacorus*), les paturins (*Poa aquatica* et *calamagrostis*), le plantain d'eau (*Alisma plantago*), le rubanier (*Sparganium simplex*, *ramosum*, etc.), la sagittaire (*Sagittaria sagittæfolia*), la menthe (*Mentha aquatica*), les chardons des marais (*Carduus palustris* et *crispus*), la prêle (*Equisetum palustre*), l'épilobe (*Epilobium palustre*), les myrtilles (*Vaccinium vitis idaea* et *myrtillus*) et les saules (*Salix aurita* et *repens*).

La tourbe se forme dans les lieux où l'eau n'a pas d'écoulement. On nomme ces lieux **marais tourbeux** ou **tourbières**.

On distingue les *marais émergés* ou *hauts marais* (*Hochmoore* ou *Filze* des Allemands) et les *marais immergés* ou *bas marais* (*Wiesenmoore* ou *Moore* des Allemands) ou, d'après Früh<sup>4</sup>, les *hauts marais*, les *bas marais* et les *marais mixtes*.

Les *hauts marais* ou *tourbières hautes* se forment aussi bien dans des lacs et des étangs avec eau non calcaire, que sur un sous-sol sans chaux, qui est arrosé par de l'eau douce. Dans le cas des lacs et des étangs, il se forme d'abord sur leur bord un tapis végétal renfermant de grandes quantités de sphaignes, qui se propagent peu à peu dans l'intérieur des lacs et des étangs et constituent maintenant une nappe flottante, sur laquelle viennent bientôt s'établir d'autres plantes (algues, droséracées, vacciniées); la nappe ainsi chargée ne tarde pas à descendre au fond de l'eau, en laissant la place pour une nouvelle végétation. Au bout d'un certain temps, la seconde nappe ainsi formée s'enfonce à son tour et est bientôt remplacée par une nouvelle, et ainsi de suite. Les plantes immergées entrent bientôt en décomposition et sont transformées en tourbe.

La formation de la tourbe sur un sous-sol non calcaire, qui est arrosé par de l'eau douce, suppose que le sous-sol est imperméable à l'eau, c'est-à-dire qu'il est constitué par de l'argile ou du sable mélangé de limon gras et argileux. Les plantes consistent surtout en bruyères, avec sphaignes. Le sous-sol de ces tourbières est au-dessus du niveau estival de l'eau. Dans les autres saisons, les plantes sont couvertes par l'eau et se décomposent. Les plantes décomposées forment le sol pour une nouvelle végétation, qui, lorsqu'il s'est écoulé un certain temps, est également transformée en tourbe et sert de sol pour une végétation subséquente.

Les *bas marais* ou *tourbières basses*, aussi nommés tourbières d'herbes,

<sup>4</sup> *Loc. cit.*, p. 4.

marais verts, se forment aussi bien dans des lacs avec eau riche en chaux, que dans les lieux où la surface terrestre — qu'elle soit de nature calcaire ou argileuse — est mouillée continuellement ou de temps en temps par une eau dure.

Dans les lacs avec eau fortement calcaire, la formation de la tourbe commence à une certaine profondeur au-dessous de la surface à partir du bord, de la manière indiquée plus haut. Les plantes (carex, scirpus, phragmites, hypnum, etc.) se développent en formant une nappe, qui s'enfoncé lorsqu'elle a acquis une certaine densité et entre en décomposition. Dans les parties peu profondes, la nappe végétale se forme aussi dans le milieu et dans l'intérieur des lacs.

Là où la surface terrestre est continuellement ou de temps en temps mouillée par une eau dure, il se forme les *prairies* dites *acides*. La végétation s'arrête sous l'eau pendant l'automne et l'hiver, et c'est alors que les plantes se décomposent.

Les tourbières des prairies atteignent dans l'Allemagne du Nord une profondeur de 2 à 3 mètres, qui va même jusqu'à 10 mètres dans la Bavière méridionale. Leur sous-sol se trouve à la hauteur et au-dessous du niveau estival de l'eau.

Les *marais* ou *tourbières mixtes* sont formés de tourbières hautes et de tourbières basses. Dans ces tourbières, les tourbières hautes reposent sur les tourbières basses. On trouve de semblables tourbières en Hongrie, en Bohême, dans les Alpes orientales et centrales, dans le Jura, dans la Prusse orientale et en Hollande. Il est probable que la plupart des tourbières hautes ont d'abord été des tourbières basses et que plus tard, par suite du changement de la composition chimique de l'eau les abreuvant, elles se sont transformées en tourbières hautes.

La tourbe se forme sous nos yeux, bien que lentement. Ainsi, on a noté dans quelques tourbières en 100 ans, dans d'autres en 30-50 ans, une augmentation d'épaisseur de la couche de tourbe de 75 centimètres. Dans d'autres localités, on a observé un accroissement de 2 mètres en 70 ans, dans d'autres encore on a constaté que l'épaisseur de la couche de tourbe avait augmenté de 1,25 à 2 mètres en 30 ans.

L'eau apporte aux tourbières des particules sablonneuses et limoneuses, qui se déposent sur le fond et deviennent des éléments de la tourbe. Ces matières terreuses, qui se retrouvent dans les cendres après la combustion de la tourbe, forment souvent des couches parfaitement tranchées entre les dépôts de tourbe.

Dans les couches de tourbe les plus profondes, la décomposition est arrivée au plus haut degré et la masse, par l'action du poids des couches susjacentes, acquiert une certaine compacité.

La tourbe se trouve répandue sur toute la surface du globe; en Europe, on en rencontre surtout en Angleterre, en Irlande, en Suède et en Norvège, en Allemagne, en Russie, en Autriche-Hongrie, ainsi qu'en France (Somme, Oise, Pas-de-Calais, etc.).

D'après l'espèce des plantes, aux dépens desquelles la tourbe s'est formée, on distingue :

1. La *tourbe de mousses*, qui est surtout formée d'espèces du genre *Sphagnum* ;

2. La *tourbe de bruyères*, formée de bruyères proprement dites (*Erica* et *Calluna*).

3. La *tourbe de gazon*, formée d'herbes.

4. La *tourbe de roseaux*, formée d'espèces du genre *Typha*, etc.

5. La *tourbe de bois*, qui résulte surtout de la décomposition de différents bois.

Suivant le *degré de la décomposition*, on distingue la *tourbe fibreuse*, *tourbe de marais* ou *tourbe mousseuse* et la *tourbe amorphe* ou *tourbe piciforme*.

La *tourbe fibreuse* se compose de restes nettement reconnaissables des plantes aux dépens desquelles elle s'est formée. Elle se présente sous la forme d'un tissu feutré de ces restes, offrant une couleur jaune ou brun clair et très léger. Elle se rencontre dans les couches qui se trouvent immédiatement à la surface terrestre.

Dans la *tourbe piciforme* on ne peut reconnaître aucun reste de plantes ou seulement les *parties les plus grossières de celles-ci*. Elle offre une coloration variant du brun foncé au noir, elle est pesante et se trouve dans les parties les plus profondes des dépôts.

Entre ces deux sortes de tourbes, on trouve encore différents produits intermédiaires extrêmement variés.

Ce qui vient d'être dit explique pourquoi le poids absolu aussi bien que le poids spécifique de la tourbe varient dans de très larges limites. Ce poids dépend non seulement du degré de décomposition de la tourbe et de la pression à laquelle elle était exposée, mais encore de sa teneur en cendre, c'est-à-dire en sable et en argile.

#### *Composition.*

La tourbe se compose de la *substance tourbeuse* proprement dite, *d'éléments inorganiques* et *d'eau hygroscopique*.

Le degré de décomposition des plantes contenues dans la tourbe étant extrêmement variable et les teneurs en cendre et en eau offrant elles-mêmes de très grandes variations, il est impossible, relativement à la composition moyenne de ce produit, de donner une indication approximativement exacte.

Le tableau ci-après (p. 148) donne la composition de la tourbe desséchée provenant de différentes tourbières <sup>1</sup>.

Les *éléments inorganiques de la tourbe* se composent des éléments de la cendre des plantes aux dépens desquelles elle s'est formée et des corps que l'eau a déposés dans les marais tourbeux (sable et argile), ces derniers éléments étant en quantité de beaucoup plus grande que les premiers. C'est ce qui explique pourquoi la teneur de la tourbe en éléments inorganiques doit être extrêmement variable. Elle oscille entre 1 et 58 p. 100 du poids de la tourbe séchée à l'air. Les éléments qui restent comme cendre lors de la combustion de la tourbe sont l'acide silicique, le peroxyde de fer, l'alumine, la chaux, les alcalis, la magnésie, l'acide phosphorique, l'acide sulfurique, etc. On trouve aussi fréquem-

<sup>1</sup> F. FISCHER, *Die chemische Technologie der Brennstoffe*, p. 439.

	CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE	AZOTE	CENDRE	
Tourbe compacte de Brème . . . . .	57,84	5,85	32,76	0,95	2,60	Breuninger.
Id. . . . .	57,03	5,56	34,15	1,67	1,57	
Grünwald . . . . .	49,88	6,50	42,42	1,16	3,72	
Harz . . . . .	50,86	5,80	42,70	0,77	0,57	Websky.
Id. . . . .	62,54	6,81	29,24	1,41	1,09	
Linum. . . . .	59,47	6,52	31,51	2,51	18,53	
Hundsmühl . . . . .	59,70	5,70	33,04	1,66	2,92	Johanson.
Finlande, du lac Ladoga. . . . .	49,92	5,95	»	1,88	0,57 à 58,71	
Tourbe presque noire de Prockuln, en Cour- lande . . . . .	48,23	5,34	26,34	2,33	17,73	Thoms.
Tourbe brun noir de Courlande. . . . .	49,69	5,33	30,76	1,01	13,23	
Tourbe presque noire de Koltzen en Livonie.	56,00	6,04	27,16	2,30	8,50	
Tourbe de mousse de couleur claire, de Kur- tenhof en Livonie . . . . .	50,38	6,96	40,98	0,82	0,84	Regnault.
Lony, tourbe brun foncé. . . . .	58,09	5,93	31,77	2,09	4,61	
Vulcaire, près Abberville, tourbe brun foncé.	57,03	5,63	29,67	2,09	5,58	
Champ du feu, près Framont. . . . .	57,79	6,11	30,77	30,77	5,33	Mulder.
Frise, tourbe compacte . . . . .	57,16	5,65	33,59	33,59	3,80	
Hollande. . . . .	50,85	5,64	30,25	30,25	14,25	
Frise, tourbe légère . . . . .	59,86	5,52	33,71	33,71	0,91	Vaux.
Princeton, près Tavistock . . . . .	54,00	5,40	30,40	30,40	10,00	
Tourbe de Cappelge, Irlande . . . . .	51,05	6,85	39,55	39,55	2,55	
Tourbe de Kulbeggen, Irlande . . . . .	61,04	6,67	30,46	30,46	1,83	Kaun.
Tourbe brun rouge avec racines, de Philips- town, Irlande . . . . .	58,69	6,97	32,88	1,45	1,99	
Tourbe brun noir compacte, de Wood of Allen, Irlande . . . . .	61,02	5,77	32,40	0,81	7,90	

ment dans la tourbe de la pyrite, ainsi que du gypse et des phosphates. On trouve également dans la cendre de l'acide carbonique.

On peut admettre qu'en général la teneur *moyenne* en cendre de la tourbe séchée à l'air est égale à 5-10 p. 100. Les tourbes avec plus de 30 p. 100 de cendre ne peuvent plus être utilisées avantageusement comme combustibles.

La tourbe des prairies est beaucoup plus exposée que la tourbe des hauteurs à être altérée dans sa pureté par l'eau limoneuse et le sable. C'est pour cela que les tourbes riches en cendre appartiennent aux tourbes des prairies, et les tourbes pauvres en cendre aux tourbes des hauteurs.

Voici d'après SENFT, la composition de quelques cendres de tourbe<sup>4</sup> :

ÉLÉMENTS DES CENDRES	TOURBE DU HAVELLAND					TOURBE DES ENVIRONS DE	
	Tourbe lourde, dense, brune, avec peu de restes végétaux.	Tourbe légère, poreuse, formée presque uniquement de restes végétaux.	Tourbe de mousses et de roseaux.	Lourde du marais de Liqum.	Lourde du marais de Friesack.	Cassel.	Hambourg.
Potasse . . . . .	0,83	0,20	0,23	0,28	0,51	0,15	3,64
Soude . . . . .	»	0,84	0,26	0,27	0,38	0,50	5,73
Chaux . . . . .	45,73	33,29	37,00	39,34	33,32	5,81	14,72
Magnésie . . . . .	»	3,03	3,04	2,43	1,65	0,69	24,39
Peroxyde de fer . . . . .	6,88	25,28	8,65	13,23	22,28	71,29	4,88
Alumine . . . . .	0,90	1,38	2,35	1,46	1,14	1,73	2,14
Acide silicique . . . . .	2,26	1,03	0,62	1,61	2,70	0,74	»
Acide sulfurique . . . . .	8,68	5,69	4,49	5,79	5,23	10,98	17,94
Chlore . . . . .	0,64	0,29	0,31	0,39	0,21	0,06	2,07
Acide carbonique . . . . .	17,12	18,79	30,59	20,47	18,27	»	»
Acide phosphorique . . . . .	3,58	1,13	1,07	5,47	1,43	6,29	3,83
Charbon . . . . .	»	»	0,58	»	0,58	»	0,49
Sable . . . . .	14,42	6,79	9,00	4,08	11,94	1,78	16,11
La tourbe séchée à l'air contenait :							
Cendre . . . . .	8,13	5,33	5,51	8,36	8,91	18,27	1,89
Eau . . . . .	17,63	19,32	18,89	31,34	21,82	26,60	18,83

La teneur en eau de la tourbe fraîche est très variable. Elle peut s'élever jusqu'à 80 p. 100. A la suite d'un long séjour au contact de l'air, la teneur en eau s'abaisse à 17-30 p. 100. La tourbe est alors appelée *tourbe séchée à l'air*. Si on la chauffe jusqu'à 120°, on peut en expulser toute l'eau hygroscopique.

Si l'on élève la température au-dessus de 120°, la substance de la tourbe se décompose.

Le *poids spécifique moyen de la tourbe* oscille généralement entre 0,113 et 1,033. On admet comme poids moyen de 1 mètre cube de tourbe

<sup>4</sup> F. FISCHER, *Loc. cit.*, p. 441.

fibreuse séchée à l'air 250 kilogrammes, et pour celui du même volume de tourbe piciforme 350-400 kilogrammes.

La *température d'inflammation* de la tourbe séchée à l'air est 250°. Sa combustibilité dépend de sa teneur en eau et en cendre, ainsi que de sa compacité. La tourbe légère, ainsi que la tourbe sèche et pauvre en cendre brûlent plus facilement et plus rapidement que le bois; la tourbe lourde, ainsi que la tourbe sans eau ni cendre brûlent au contraire plus difficilement et plus lentement que ce dernier. Enfin, la tourbe ordinaire séchée à l'air brûle avec une flamme plus courte que le bois.

La *chaleur de combustion* de la tourbe varie comme ses teneurs en eau et en cendre. La tourbe sèche et pauvre en cendre dégage plus de chaleur que le bois, à cause de sa plus grande richesse en carbone. Si l'on admet que la substance de la tourbe contient en moyenne 60 de carbone, 6 d'hydrogène, 32 d'oxygène et 2 d'azote p. 100, on obtient pour la chaleur de combustion, calculée d'après la formule de DULONG, 5237 Cal. F. FISCHER a déterminé à l'aide du calorimètre la chaleur de combustion de la tourbe pressée de Gifhorn contenant environ 2,51 p. 100 de cendre et 11,90 p. 100 d'eau et il a obtenu 5430 Cal. (résultat rapporté à l'eau liquide comme produit de combustion) et 4961 Cal. (résultat rapporté à la vapeur d'eau). Avec une teneur en eau de 25 à 30 p. 100 et une teneur en cendre de 6 à 8 p. 100, l'effet calorifique absolu de la tourbe s'élèvera à environ 3000 Cal., il sera par suite égal à l'effet calorifique absolu du bois séché à l'air. — On admet que la *température de combustion* de la tourbe s'élève à 1160°.

D'après KARMARSCH, relativement au rendement calorifique (effet calorifique absolu) :

100 kg. de tourbe jaune	correspondent à	94,6 kg. de bois de pin séché à l'air		
100 — de tourbe brune	—	107,6 —	—	—
100 — de tourbe terreuse	—	104,0 —	—	—
100 — de tourbe piciforme	—	110,7 —	—	—
100 m <sup>3</sup> de tourbe jaune	—	32,2 m <sup>3</sup>	—	—
100 — de tourbe brune	—	89,7 —	—	—
100 — de tourbe terreuse	—	144,6 —	—	—
100 — de tourbe piciforme	—	184,3 —	—	—

D'après BRIX, 1 kilogramme de tourbe séchée à l'air transforme 4,62-6,49 parties en poids d'eau à 0° en vapeur à 100°.

#### *Extraction de la tourbe.*

La tourbe est employée à l'état de morceaux moulés sous une forme régulière. Si elle possède une compacité suffisante, elle reçoit cette forme au moment même de son extraction, et à cet effet, les marais tourbeux, ayant été préalablement desséchés, si c'est nécessaire, elle en est extraite sous forme de blocs prismatiques ou briquettes, soit par travail manuel (au moyen de bêches), soit à l'aide de machines. La tourbe extraite par ce procédé (appelé piquage) est désignée sous le nom de *tourbe de piquage* ou *tourbe à la bêche*. Elle est desséchée à l'air libre ou sous des hangars.

Parmi les machines construites dans ces derniers temps pour l'extraction de la tourbe de piquage, nous mentionnerons celle de Brosowsky.

Depuis quelque temps, au lieu d'extraire cette sorte de tourbe directement sous forme de briquettes au moyen de machines, on la retire des marais, également à l'aide de machines, en masses irrégulières, qui sont ensuite découpées au moyen de couteaux, puis piétinées et battues (ou d'abord soumises à une l'évigation, si le produit est riche en matières inorganiques) et ensuite moulées. Pour le moulage, on mélange la masse tourbeuse avec de l'eau, on l'étend sur un sol sec, on la laisse sécher quelque temps et ensuite on la coupe en morceaux de la forme désirée, que maintenant on met en tas, qui sont abandonnés à eux-mêmes pendant un temps suffisant pour obtenir la tourbe dite séchée à l'air; ou bien on moule à l'aide de machines la masse tourbeuse préalablement découpée, piétinée et battue. Le moulage à l'aide des machines est suivi fréquemment d'une compression de la masse (tourbe pressée). Parmi les machines employées dans ce but, nous citerons celles de SCHLICKEYSEN<sup>1</sup> et de LUCHT.

Si, à cause de sa mollesse, la tourbe ne peut pas être exploitée comme il vient d'être dit, on l'extrait comme s'il s'agissait de creuser une excavation ou, si le marais est profond et riche en eau, on a recours au débouage ou dragage (tourbe à la drague). La tourbe ainsi extraite est bien brassée de façon à rendre la masse aussi homogène que possible et elle est ensuite introduite dans des moules, où elle reçoit la forme de morceaux prismatiques, qui sont desséchés, ou bien on l'étend sur un sol sec, où on la laisse sécher pendant quelque temps, après quoi on la piétine ou on la bat et enfin on la coupe en morceaux qu'on réunit en tas, de façon à obtenir la tourbe séchée à l'air.

Le moulage de cette tourbe peut aussi être effectué à l'aide de machines et l'on peut, également dans ce cas, faire subir à la masse une certaine compression.

La tourbe extraite au moyen de machines est appelée *tourbe artificielle*. Elle est plus homogène et plus dense que la tourbe extraite par travail manuel et peut être transportée, sans que les morceaux se désagrègent, comme cela a lieu avec la tourbe à la main.

La *compression* de la tourbe est pratiquée à la température ordinaire ou après chauffage de la masse, mais toujours après avoir été soumise à une désagrégation préalable. La tourbe désagrégée est ordinairement desséchée et ensuite pressée après avoir été humectée avec une petite quantité d'eau. Parmi les presses à tourbe, nous citerons celles de DOLBERG, de FRIEDRICH, de MECKE et SANDER et de la ZEITZER EISENGIESSEREI.

#### *Accroissement de l'effet calorifique de la tourbe.*

On peut augmenter l'*effet calorifique* de la tourbe en en éliminant complètement ou partiellement, comme on le fait pour le bois, l'eau hygroscopique, et dans le second cas par dessiccation du produit à l'air, dans le premier cas par torréfaction.

<sup>1</sup> Voy. F. FISCHER, *Chemische Technologie der Brennstoffe*, t. I, p. 430 et 431.

Par la *dessiccation de la tourbe à l'air*, qui a lieu à l'air libre ou sous des hangars, on abaisse sa teneur en eau à 25 p. 100.

La *torréfaction de la tourbe* est effectuée de la même manière que celle du bois, à l'aide de gaz de foyers ou d'air chauffé à une température ne dépassant pas 120°. Les dispositifs en usage pour la torréfaction sont des chambres en maçonnerie, ou lorsqu'on emploie de l'air chauffé des trémies en tôle.

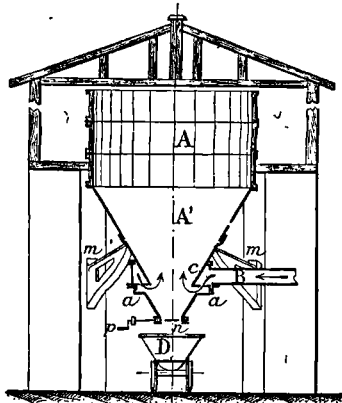


Fig. 48. — Appareil de Welkner pour la torréfaction de la tourbe.

Le dispositif de WELKNER est une trémie de ce genre, qui à son extrémité inférieure est munie d'une porte de déchargement. A cette extrémité, à une certaine distance au-dessus de la porte, on fait arriver un courant d'air chauffé, qui passe entre les morceaux de tourbe chargés dans la trémie et les déshydrate.

[Ce dispositif est représenté en coupe verticale par la figure 48. A est un cylindre formé de douves en bois cerclés, de 3 mètres de diamètre et 2 mètres de hauteur, dans lequel est déversé la tourbe à dessécher et qui se termine par un entonnoir en tôle A', de 3 mètres de hauteur, lequel est soutenu par les supports *mm*. L'ouverture inférieure de A' est munie d'un

clapet *n*, qu'on peut ouvrir ou fermer à l'aide de la manivelle *p*. A 50 centimètres environ, au-dessus de l'ouverture, débouche le conduit B, qui amène l'air chaud et qui, afin d'assurer une égale répartition de cet air dans toute la section, communique d'abord avec l'enveloppe circulaire *aa*, d'où l'air, par une série de trous, pénètre dans l'entonnoir et s'élève à travers la tourbe. De temps en temps, une certaine quantité de tourbe sèche est évacuée de l'appareil dans la cuve D, mobile sur des rails, et remplacée à la partie supérieure par une égale quantité de tourbe fraîche. En vingt-quatre heures, on peut dessécher 10 tonnes de tourbe, en enlevant à celle-ci 20 p. 100 d'eau et cela, lorsqu'on a recours à un foyer spécial pour le chauffage de l'air, avec une consommation de combustible (tourbe) seulement égale à 10 p. 100 du poids de la tourbe séchée.]

La tourbe torréfiée est, comme le bois torréfié, très hygrométrique et doit par suite être employée immédiatement après la torréfaction. On se sert de la tourbe principalement pour la vaporisation et la concentration des liquides. Si l'on veut avec la tourbe obtenir de hauts degrés de chaleur, il faut la transformer en gaz. La tourbe n'a pas jusqu'à présent acquis une bien grande importance pour les métallurgistes.

### Lignite.

On désigne sous le nom de *lignite* une espèce de charbon résultant de la décomposition de végétaux, qui se rencontre dans les terrains de formation plus récente que le crétacé. Pour le lignite, la décomposition



de la substance végétale est plus avancée que pour la tourbe, mais elle n'a pas encore été poussée aussi loin que pour la houille. On a proposé, pour distinguer le lignite d'avec la houille, différentes réactions chimiques, qui toutefois sont en défaut dans un grand nombre de cas. Ces réactions sont basées sur la manière dont se comporte le charbon lorsqu'on le chauffe à l'abri du contact de l'air, lorsqu'on le chauffe avec de la potasse et sur l'action qu'exercent sur lui les alcalis caustiques en fusion.

Lorsqu'on chauffe le lignite dans un tube à essais, il fournit des vapeurs chargées d'acide acétique et ayant par suite une réaction acide, tandis que la houille, à cause de l'azote qu'elle renferme donne des vapeurs contenant de l'ammoniaque et ayant par conséquent une réaction alcaline.

Lorsqu'on chauffe le lignite avec une lessive de potasse, le liquide se colore en brun, par suite de la formation d'humate de potassium, tandis que la houille ne colore pas le liquide. Avec certaines sortes de lignites (de la formation tertiaire alpine), il ne se produit pas de coloration brune.

L'action des alcalis en fusion sur le lignite donne lieu à la formation de *pyrocatechine*, tandis que avec la houille il n'en est pas ainsi.

En outre, le lignite serait facilement détruit par un mélange de chromate de potassium et d'acide sulfurique, mais la houille ne le serait que partiellement.

#### *Classification des lignites.*

On peut diviser les lignites, surtout d'après leur structure, en trois espèces principales, entre lesquelles il y a cependant les termes de passage les plus variés ; ces trois espèces sont : le **lignite fibreux**, le **lignite terreux** et le **lignite commun**. On peut en outre, faisant abstraction de la structure, considérer comme une espèce de lignite particulière le **lignite gras asphaltique**.

Le **lignite fibreux**, aussi nommé bois fossile ou lignite bitumineux, possède encore la structure du bois, aux dépens duquel il s'est formé. Il présente des termes de passage aussi bien au lignite commun qu'aux espèces asphaltiques. Dans le premier cas, on le nomme *bois bitumineux*, dans le second *lignite bitumineux*.

Le **lignite terreux** s'est produit aux dépens de plantes analogues à celles qui ont donné naissance à la tourbe. Il est coloré en brun foncé et constitue une masse molle, friable.

Le **lignite commun** est plus compact et plus dur que le lignite fibreux et le lignite terreux et il offre fréquemment une structure ligneuse. La cassure est terreuse ou conchoïdale.

Entre le lignite terreux et le lignite commun, il y a encore le *lignite terne* (houille limoneuse). Ce lignite n'a pas de structure ligneuse; sa cassure est conchoïdale, il présente de nombreuses fissures et ressemble à plusieurs sortes de houilles. Aux lignites à couleur noire et cassure conchoïdale appartiennent aussi la *houille luisante* et le *jayet* ou *jais*.

Le **lignite gras asphaltique** a une cassure conchoïdale, ou irrégulière et terreuse. Il se distingue par une grande teneur en carbone (70 à 80 p. 100) et en hydrogène (6-8 p. 100), ainsi que par sa faible teneur en

oxygène (12-14 p. 100), il est facilement inflammable et brûle avec une flamme longue et fuligineuse. Il est surtout employé pour la fabrication du goudron et de ses produits (huile solaire et paraffine) et il ne sert par suite que fort peu comme combustible.

### Composition.

Le lignite se compose de *substance carbonneuse*, d'*éléments minéraux* (cendre) et d'*eau hygroscopique*.

D'après GRUNER, la *substance carbonneuse* du lignite est composée comme il suit :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène + azote.
Lignite fibreux. . . . .	57 — 67	5 — 6	28 — 37
Lignite terreux. . . . .	64 — 70	5 — 6	25 — 30
Lignite commun. . . . .	65 — 75	4 — 6	21 — 29

Le tableau suivant donne la composition de différentes espèces de lignites :

LIGNITE DE :	CARBONE	HYDRO- GÈNE	OXYGÈNE	AZOTE	SOUFRE	EAU	CENDRE
Uslar . . . . .	30,04	2,10	14,80	0,76	1,12	50,12	1,06
Webau . . . . .	61,38	0,03	13,41	0,50	0,37	»	8,31
Bauersberg (Bavière), li- gnite fibreux . . . . .	60,44	5,30	22,01	traces	0,86	10,74	0,65
Valkenstein (Bavière), Pechkohle . . . . .	75,10	4,30	18,80	»	»	2,70	1,10
Bauersberg (Bavière), li- gnite terreux . . . . .	24,60	2,59	23,00	»	4,32	17,00	28,50
Wüstensachsen (Prusse) Pechkohle . . . . .	76,17	3,90	17,52	»	0,30	0,55	1,56
Léoben (Styrie) :							
Lignite menu . . . . .	70,97	4,88	23,35	0,80	0,33	11,34	10,22
Lignite en morceaux . . . . .	72,53	4,91	21,73	0,83	0,40	10,58	6,10
Carpano-Tal (Istrie) . . . . .	63,69	5,03	13,12	1,79	7,53	1,46	8,84
Wolfsegg (Haute-Autri- che . . . . .	66,69	4,75	27,27	1,29	0,32	30,09	9,35
Aussig (Bohême) . . . . .	60,85	5,49	33,02	0,64	0,92	25,90	4,77
Dux (Bohême) . . . . .	72,76	5,51	19,57	2,16	0,24	28,55	5,03
Neufeld (Hongrie) . . . . .	67,00	5,35	26,35	1,30	2,09	23,92	27,07

La composition immédiate du lignite, pas plus que celle de la houille, ne peut pas être indiquée.

Les éléments de la cendre, comme pour la tourbe, proviennent pour la plus faible partie, des plantes qui ont donné naissance au lignite, et pour la plus grande partie des minéraux et en particulier de roches mélangées avec le combustible.

Ces éléments consistent surtout en acide silicique, alumine, chaux, magnésie, peroxyde de fer, peroxyde de manganèse, alcalis, soufre, acide sulfurique et (dans quelques cas) acide phosphorique.

Le soufre provient partie de pyrite, partie de corps organiques auxquels il était combiné. C'est également à de la pyrite qu'est due la présence de l'acide sulfurique. La pyrite se trouve fréquemment dans le lignite en quantité telle que, dans le cas de la présence simultanée d'éléments argileux, le lignite est employé pour préparer de l'alun. On le nomme dans ce cas *terre alumineuse*.

La teneur du lignite en éléments minéraux est très variable. Elle s'élève en grande moyenne à 5-15 p. 100, mais elle peut aller jusqu'à 50 p. 100. Elle atteint son maximum dans le lignite terreux.

Les analyses suivantes donnent la composition de la cendre de trois sortes de lignites :

	I	II	III
Acide silicique . . . . .	26,15	12,00	34,52
Alumine . . . . .	7,58	9,00	10,86
Peroxyde de fer . . . . .	9,97	56,21	14,53
Chaux . . . . .	23,96	12,50	13,33
Magnésie . . . . .	8,98	2,25	0,86
Alcalis . . . . .	5,39	traces	6,06
Acide sulfurique . . . . .	15,38	7,50	13,40
Acide phosphorique . . . . .	2,11	0,54	0,84
Zinc . . . . .	0,05	—	—
Cuivre . . . . .	traces	—	—
Manganèse . . . . .	traces	—	—

I, cendre de lignite de Trifail, II, cendre de lignite de l'Hérault, III, cendre de lignite de Dioszyor (Hongrie).

La teneur du lignite en eau hygroscopique est également très variable. Elle s'élève pour le charbon fraîchement extrait à 50 p. 100. Par la dessiccation du charbon à l'air, elle est réduite pour le lignite fibreux à 10-15 p. 100, pour le lignite commun à 5-10 p. 100 et pour le lignite terreux à 22 p. 100

*Poids spécifique du lignite.*

Le poids spécifique du lignite oscille entre 0,5 et 1,5. Il s'élève en grande moyenne à 1,20-1,25.

Le poids de 1 mètre cube de lignite en morceaux varie de 550 à 780 kilogrammes.

*Chaleur de combustion.*

La chaleur de combustion de la substance proprement dite du lignite (sans eau, ni cendre) s'élève pour le lignite fibreux à 5500 Cal. et pour le lignite commun à 7000-8000 Cal.

En tenant compte de la teneur en eau et en cendre, on admet pour la chaleur de combustion du lignite fibreux 3400 Cal. et pour celle du lignite commun 5500 Cal. On indique 1200° pour la *température de combustion* du lignite séché à l'air.

*Préparation préliminaire du lignite.*

La préparation préliminaire, que l'on fait subir au lignite avant de le brûler, consiste à le faire sécher dans un lieu aéré à l'abri de la pluie et à

donner au lignite terreux et au charbon menu, à l'aide de presses, la forme de morceaux prismatiques, désignés sous le nom de briquettes.

On ne peut pas, comme pour le bois et la tourbe, augmenter l'effet calorifique par torrification, parce que lorsqu'on chauffe le lignite il décrépité.

Par un séjour prolongé au contact de l'air, ce charbon perd de son pouvoir calorifique, par suite de sa décomposition lente.

#### *Préparation des briquettes de lignite.*

Le menu d'un grand nombre de lignites peut être moulé en briquettes sans substances agglutinantes artificielles ou seulement au moyen d'eau. Le combustible est mélangé avec de l'eau, pressé et ensuite desséché, ou bien il est d'abord dépouillé de la plus grande partie de son eau et pressé à l'état chaud. On appelle *briquettes de presse humide* les briquettes préparées d'après le premier procédé et *briquettes de lignite* celles qui sont obtenues d'après le second.

Il est un grand nombre de lignites avec lesquels on ne peut pas préparer des briquettes comme il vient d'être dit. Leur menu est inutilisable, si ses particules ne sont pas reliées entre elles à l'aide de substances agglutinantes artificielles. Mais jusqu'à présent ce procédé s'est montré trop coûteux.

La préparation des *briquettes de presse humide* comprend les opérations suivantes : pulvérisation des lignites à l'aide de broyeurs, mélange du menu avec addition d'eau, pressage de la masse à l'aide de dispositifs la transformant en une sorte de ruban prismatique, découpage de ce dernier en briquettes et dessiccation de celles-ci à l'air sous des hangars. On a essayé à plusieurs reprises de soumettre les briquettes à une dessiccation artificielle, mais à cause de la grande dépense que celle-ci occasionne le procédé n'est employé que par quelques usines peu nombreuses.

Les briquettes de presse humide contiennent encore jusqu'à 40 p. 100 d'eau et ne possèdent qu'une faible cohésion, de sorte qu'elles ne peuvent pas être transportées à de longues distances. Leur puissance calorifique, par suite de leur grande teneur en eau, est relativement faible.

Les briquettes préparées après *dessiccation préalable* du lignite ont une teneur en eau beaucoup moindre (15 à 20 p. 100) et une cohésion plus grande que les briquettes de presse humide, et c'est pour cela que maintenant elles sont préparées sur une échelle beaucoup plus grande que les dernières.

La *fabrication des briquettes* comprend le tamisage du menu et la pulvérisation des morceaux restés sur le tamis, la dessiccation artificielle du menu tamisé, afin d'éliminer la majeure partie de l'eau, et le moulage en briquettes du charbon encore chaud sous une pression de 1000-1500 atmosphères. Un agent agglutinant n'est pas nécessaire, parce que, à la haute pression employée pour le moulage, le menu introduit dans la presse à l'état chaud éprouve une élévation de température telle que *le bitume qu'il renferme fond et réunit les particules charbonneuses en une masse solide cohérente*.

L'aptitude des lignites à se laisser transformer en briquettes dépend de leur teneur en bitume et de la composition chimique de ce dernier,

ainsi que de la quantité d'humidité qui a été laissée dans le menu desséché. Si ce dernier a été trop fortement séché, si par conséquent il contient trop peu d'eau, les briquettes fabriquées avec ce produit se délitent. La teneur en eau nécessaire oscille, suivant la nature du lignite, entre 5 et 20 p. 100. Les charbons riches en bitume exigent une teneur en eau moindre, ceux qui sont pauvres en cette substance demandent une teneur en eau plus élevée et par suite ces derniers doivent être desséchés à une température plus basse que les premiers. On ne sait pas si l'eau néces-

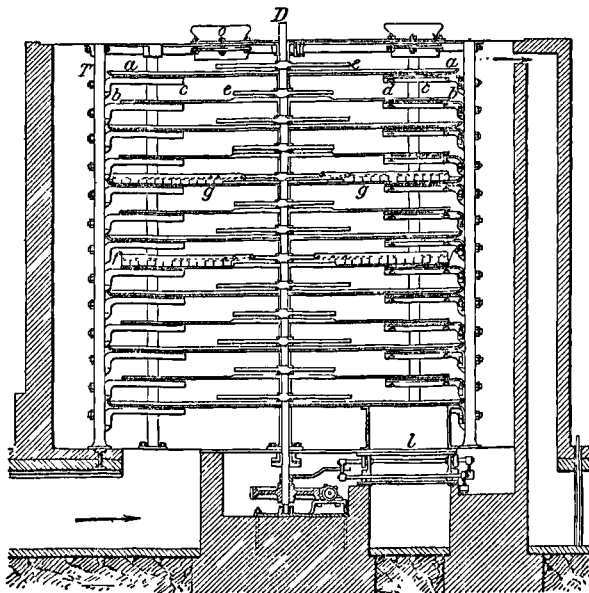


Fig. 49. — Four à plateaux chauffé au moyen de gaz de foyers; coupe verticale.

saire pour la fabrication de bonnes briquettes est de l'eau de constitution ou si la quantité de l'eau étant insuffisante, c'est-à-dire si la dessiccation ayant été poussée trop loin, le bitume subit une altération chimique et si avec cela les particules charbonneuses perdent de leur aptitude à s'agglutiner.

Le tamisage du charbon a lieu sur des tamis à secousses. Les particules fines passées à travers ces derniers (10-15 mm. de grosseur de grain) sont amenées aux appareils de dessiccation, tandis que les particules grossières sont broyées une ou plusieurs fois entre des cylindres et ensuite tamisées. Le grain ainsi obtenu ayant la grosseur désirée, on envoie également cette poudre aux appareils exsiccateurs. Les déchets sont employés au chauffage des chaudières.

La dessiccation du charbon menu est effectuée soit à l'aide de gaz de foyers, soit à l'aide d'air chaud ou de vapeur d'eau.

Parmi les très nombreux appareils exsiccateurs imaginés jusqu'à ce jour, nous ne décrirons dans les pages suivantes que les dispositifs les plus importants.

Les appareils dans lesquels la dessiccation a lieu par *contact immédiat du menu de lignite avec les gaz du foyer*, les fours à plateaux et à gaz de foyers, se composent d'une série de plateaux en fonte disposés les uns au-dessus des autres et sur lesquels le charbon à dessécher est remué et retourné au moyen de bras agitateurs munis de palettes; ainsi mis en mouvement, le charbon tombe de plateau en plateau par des ouvertures placées alternativement sur les bords et le milieu de chaque plateau, jus-

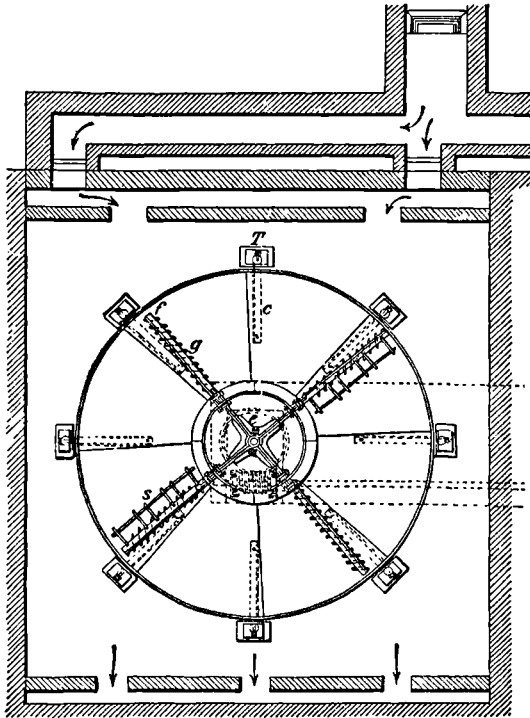


Fig. 50. — Four à plateaux chauffé au moyen de gaz de foyers: coupe horizontale.

qu'à ce qu'enfin il arrive à la partie inférieure du four. Les gaz du foyer sont dirigés dans le four également de haut en bas, de façon à se mettre en contact avec la masse recouvrant les plateaux.

Les figures 49 et 50 représentent un pareil four <sup>1</sup>. *a* et *b* sont les plateaux en fonte établis les uns au-dessus des autres. Ils ont chacun 4 mètres de diamètre et sont fixés à des colonnes en fonte *T*. *D* est un arbre vertical muni de bras agitateurs *g*. A ces bras sont adaptées des palettes en tôle fixées obliquement et placées de façon que sur un plateau elles poussent le charbon du milieu vers le bord, et que sur le plateau inférieur le combustible soit dirigé du bord vers le milieu. Les plateaux eux-mêmes sont munis de fentes alternativement dans leur milieu et sur leur bord,

<sup>1</sup> FISCHER, *Die chem. Technologie der Brennstoffe*, t. II. p. 5.

de telle sorte que de l'un d'eux le charbon puisse tomber sur l'autre et passer ainsi successivement de haut en bas sur tous les plateaux. Du dernier plateau, le charbon tombe dans une chambre collectrice. Les plateaux se trouvent dans un four, dans lequel les gaz du foyer arrivent par sa partie supérieure et enveloppent les plateaux en traversant le four de haut en bas, pour passer finalement par un canal dans la cheminée.

Dans le dispositif de JACOBI<sup>1</sup>, le four quadrangulaire est partagé par un mur Z (fig. 51, 52 et 53), suivant sa hauteur, en deux compartiments A et B. Du foyer *f*, les gaz arrivent, par les canaux verticaux *s*, *s*, d'abord dans le compartiment supérieur A et après avoir enveloppé les plateaux qui s'y

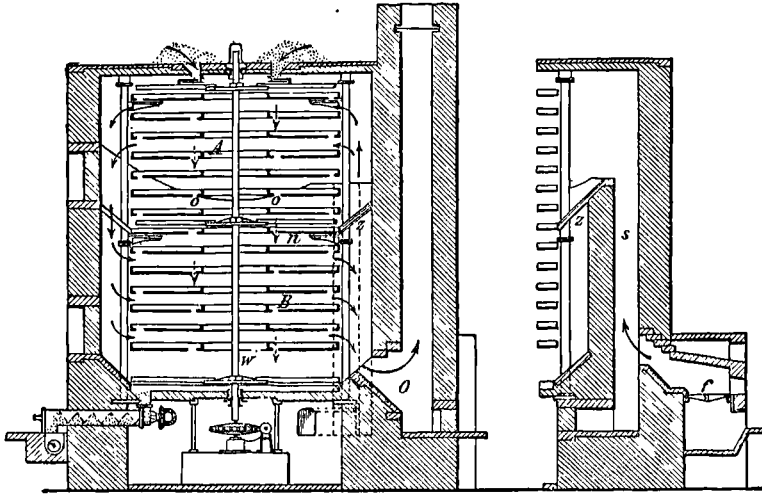


Fig. 51 et 52. — Four à plateaux de Jacobi, chauffé au moyen de gaz de foyers; coupes verticales.

trouvent ils se rendent, par les ouvertures *d* ménagées dans la cloison Z (fig. 52 et 53), dans le compartiment inférieur, dont ils enveloppent également les plateaux, pour s'échapper ensuite, chargés de vapeur d'eau, par le canal O, conduisant à la cheminée.

Le rendement d'un four à plateaux s'élève, par vingt-quatre heures, à 12,5 tonnes environ de menu sec.

Les fours à plateaux et à gaz de foyers ne conviennent que pour des charbons avec une teneur en lignite relativement faible, qui à cause de cela exigent pour leur dessiccation une haute température. Ils ne peuvent pas être employés pour les charbons chargés de poussière, collants et se boursoufflant. On ne construit plus de nouveaux fours de cette espèce, à cause des avantages qu'ont sur eux les appareils de dessiccation chauffés à la vapeur.

Dans les dispositifs chauffés au moyen d'air chaud, le menu de lignite tombe de haut en bas en glissant successivement sur une série de plans

<sup>1</sup> Brevet allemand, n° 17546.

inclinés, tandis que l'air chaud est introduit sous pression par des fentes

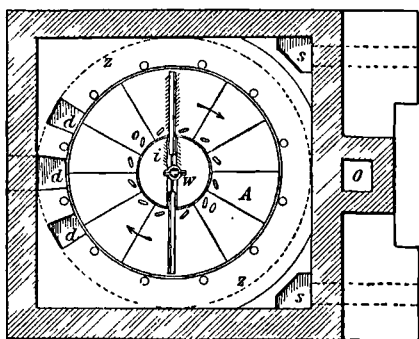


Fig. 53. — Four à plateaux de Jacobi; coupe horizontale.

au capital d'établissement qu'ils exigent et ils ont été supplantés par les appareils de dessiccation à la vapeur.

Les dispositifs de dessiccation à la vapeur sont, soit des appareils à plateaux, soit des appareils à tubes.

Les exsiccateurs à plateaux et à vapeur offrent une disposition analogue à celle des dispositifs à plateaux et à gaz de foyers et la vapeur circule à l'intérieur des plateaux qui sont creux. Les figures 55 à 57 représentent la disposition d'un exsiccateur à plateaux et à vapeur de la ZEITZER EISENGIESSEREI UND MASCHINENBAU-ACTIENGESSELLSCHAFT, de Zeitz<sup>2</sup> (échelle 1 : 50). *n, n* sont les plateaux creux, de 5 mètres de diamètre extérieur. Ils sont établis entre quatre colonnes *S* et entourés d'une enveloppe en tôle de fer *E*. Les plateaux disposés les uns au-dessus des autres sont distants l'un de l'autre de 20 centimètres. De l'air pénètre dans les intervalles entre les plateaux par des fentes correspondantes, ménagées dans l'enveloppe en tôle. *a* sont les bras agitateurs fixés à l'arbre *W*. Le charbon menu qui se trouve sur les plateaux, où il forme une couche de 5 à 6 centimètres d'épaisseur, est poussé par les palettes *r* fixées aux bras *a* alternativement vers le bord et le centre des plateaux et, par les ouvertures ménagées en ces points, il circule ainsi de plateau en plateau jusqu'au milieu du four.

<sup>1</sup> FISCHER, *Chem. Technologie der Brennstoffe*, t. II, p. 13.

<sup>2</sup> FISCHER, *Loc. cit.*, t. II, p. 15.

latérales de l'appareil ou à son extrémité inférieure et traverse ce dernier à l'encontre du menu venant de la partie supérieure. L'air est chauffé au moyen de la vapeur d'échappement des machines motrices. La figure 54 représente le dispositif de JACOBI<sup>1</sup>. Le menu glisse entre les plaques *ef* et les tubes à vapeur pentagonaux *a*. Son mouvement est réglé au moyen d'un registre *k*. L'air chaud est introduit dans la partie la plus basse de l'appareil.

Les fours de cette espèce ont un faible rendement relativement

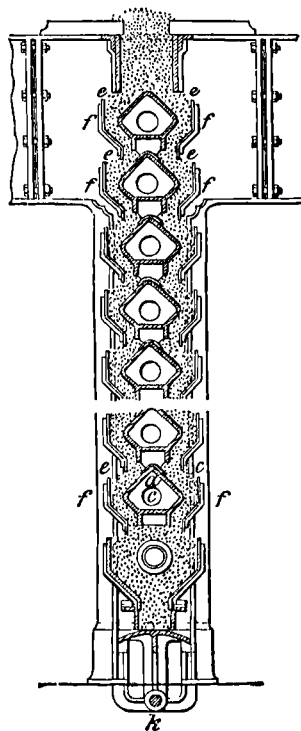


Fig. 54. — Four de Jacobi à air chaud



Là il tombe sur un appareil tamiseur *s*, formé de trois tamis annulaires et de deux plaques de même forme placées sur ces derniers. Le menu tombe par l'ouverture centrale du plateau, qui se trouve au-dessus de l'appareil tamiseur, dans le milieu de ce dernier et vers le bord duquel il est poussé par l'agitateur. Il arrive ainsi d'abord sur le tamis le plus interne, à travers lequel tombe la poudre sèche, tandis que le menu grossier qui reste

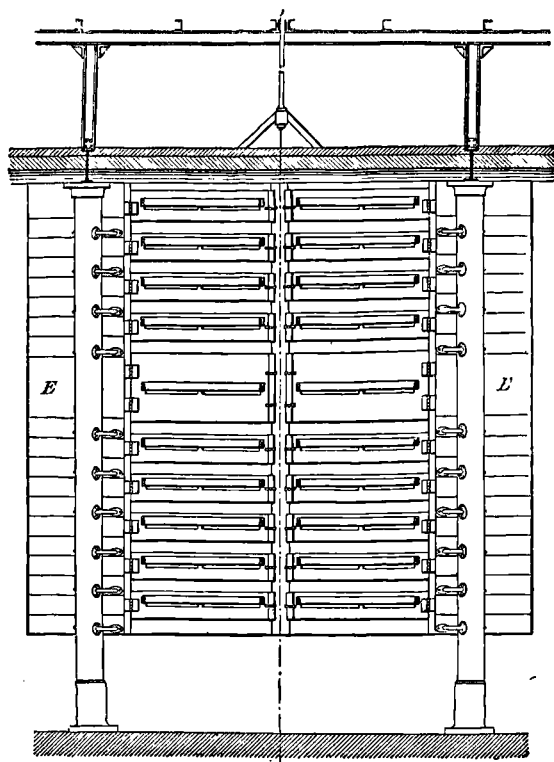


Fig. 55. — Four à plateaux et à vapeur; coupe transversale.

passé sur la première plaque annulaire, où il est broyé par les meules verticales *W*. La masse broyée est poussée par l'agitateur sur le deuxième tamis, que la poudre traverse. Les masses, toujours poussées par l'agitateur, arrivent sur la deuxième plaque annulaire, où elles subissent un second broyage et sont ensuite poussées sur le dernier tamis, que la poudre traverse, tandis que les impuretés restées sur le tamis sont poussées par l'agitateur dans une trémie collectrice, établie sur l'un des côtés de l'appareil. La poudre qui a passé à travers le tamis le plus interne arrive directement, du plateau qui se trouve immédiatement au-dessous, sur le dernier plateau, et là se réunit à la poudre sèche passée sur les autres tamis, pour être ensuite retirée mélangée à cette dernière et transportée aux presses. Par des ouvertures munies de portes,

ménagées dans l'enveloppe de l'appareil, on peut atteindre chaque plateau.

On n'a pas encore observé d'explosions, par suite de l'inflammation de la poussière de lignite, dans les exsiccateurs à plateaux et à vapeur.

Les *exsiccateurs à tubes* sont des tubes inclinés qui sont placés dans une chaudière rotative et chauffés au moyen de vapeur extérieure. Le menu est chargé à l'extrémité supérieure des tubes et, par suite de la rota-

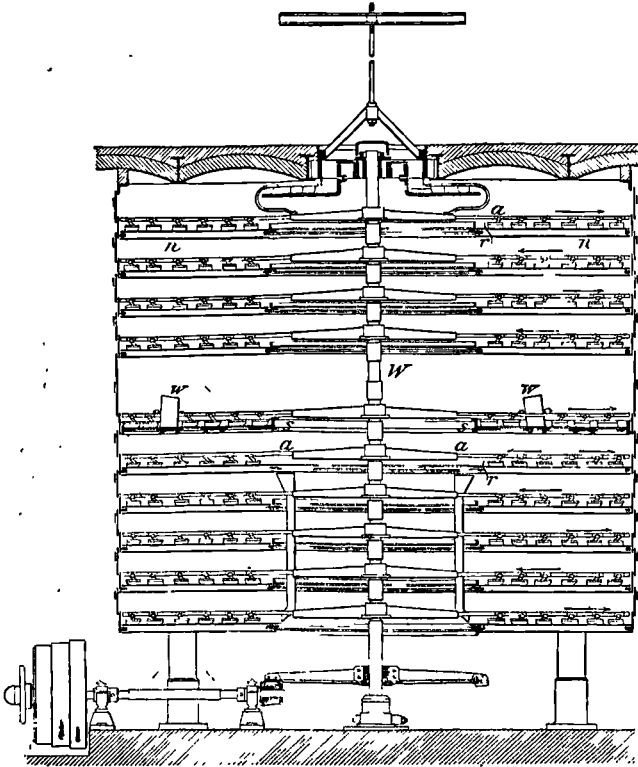


Fig. 36. — Four à plateaux et à vapeur; coupe longitudinale.

tion de ces derniers, il les parcourt peu à peu dans toute leur étendue. Afin d'augmenter le rendement de l'appareil, on introduit dans les tubes des cylindres mobiles plus courts que ces derniers et préalablement chargés de charbon à dessécher ; il est alors possible de faire subir à ce dernier, avant son introduction dans les tubes, une dessiccation préliminaire, et, après sa sortie, de le soumettre à une dessiccation complémentaire. La vitesse de rotation de la chaudière et des tubes peut être réglée de façon que le menu sorte à l'état sec de ces derniers.

L'appareil à tubes le plus employé est celui qui a été indiqué par SCHULZ<sup>4</sup>. Il a 6 mètres de longueur, 2,2 mètres de diamètre extérieur et il

<sup>4</sup> Brevet allemand, n° 32220.

contient 200-240 tubes de 95 millimètres de diamètre. Les tubes sont chauffés au moyen de la vapeur d'échappement des machines motrices. La vapeur pénètre par les tourillons creux sur lesquels tourne la chaudière de l'exsiccateur et elle se répand uniformément dans celle-ci par les trous dont son axe creux est muni. Le chargement du menu dans les tubes se fait au moyen d'une trémie, qui est établie à l'extrémité supérieure de l'appareil. Lorsque la chaudière tourne, chaque tube se remplit de charbon jusqu'à la moitié de son diamètre. L'espace libre qui reste au-dessus du charbon sert pour le passage de l'air et la sortie des vapeurs aqueuses qui se dégagent pendant la dessiccation. L'air, avant son introduction dans le tube, est réchauffé dans l'enveloppe creuse de l'appareil. Les vapeurs aqueuses

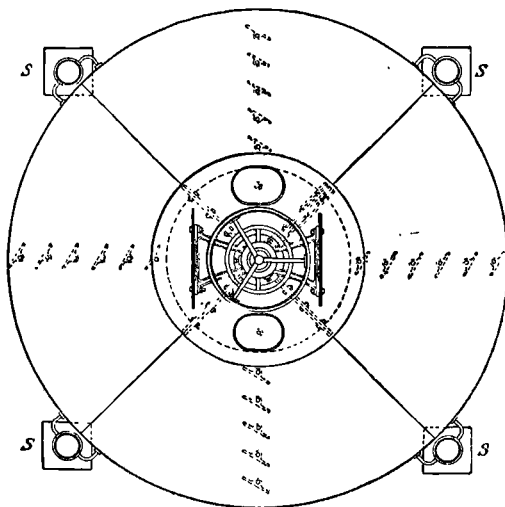


Fig. 57. — Four à plateaux et à vapeur; coupe horizontale.

résultant de la dessiccation passent, avec l'air et les particules de poussières, de l'extrémité inférieure de l'appareil dans une cheminée. Les figures 58 et 59 montrent un atelier de dessiccation au moyen d'appareils à tubes, qui est établi au-dessus de la presse à briquettes. Le menu desséché tombe de l'appareil exsiccateur dans une trémie et de celle-ci dans des transporteurs hélicoïdaux, refroidis au moyen d'eau, qui le conduisent aux presses.

Des différents appareils exsiccateurs, le charbon est rassemblé dans un magasin de dépôt, d'où il est amené aux presses à l'aide de vis d'Archimède ou d'élévateurs. Dans le magasin de dépôt, le charbon subit une dessiccation complémentaire et en même temps sa teneur en eau, dans le cas où elle ne correspond pas au chiffre requis, est ramenée à ce chiffre.

Pour éviter l'inflammation spontanée du charbon desséché pendant son séjour dans les magasins de dépôt, il faut l'y introduire avec une certaine température, qui doit être déterminée pour chaque espèce de lignite. Dans les appareils à plateaux et à vapeur, on ne chauffe pas le plateau le plus

bas, afin de refroidir le charbon. Avec les exsiccateurs à tubes de SCHULZ, des dispositifs de réfrigération sont nécessaires pour atteindre ce but.

Le moulage du menu de lignite desséché est effectué au moyen de presses analogues aux presses à tourbe avec moules ouverts, dans lesquelles le frottement de la masse à presser contre la paroi du moule constitue la résistance opposée à la presse. Dans ces appareils, un piston compresseur est poussé en direction horizontale dans un moule en fonte dure ou en acier de 1 mètre environ de longueur et placé horizontalement. Lorsque le piston, qui reçoit son mouvement d'un arbre coudé, est arrivé

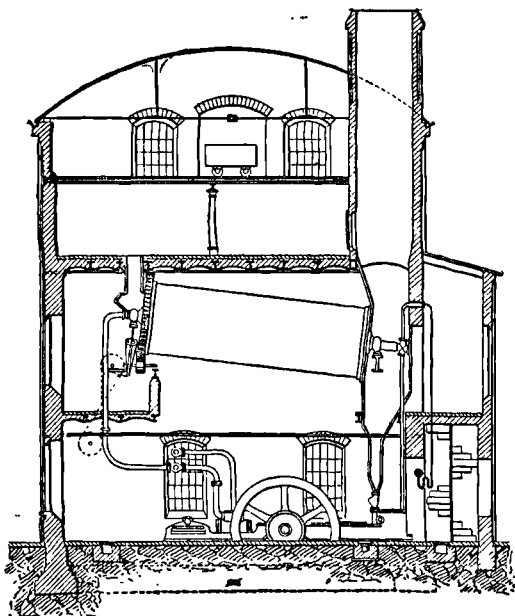


Fig. 58.

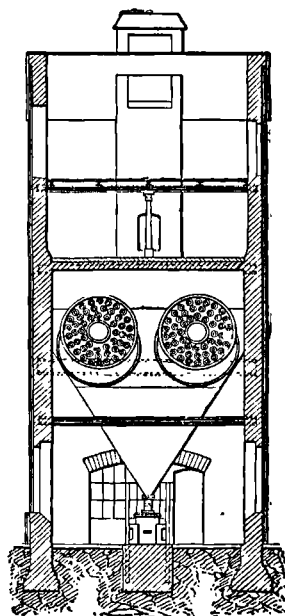


Fig. 59.

Fig. 58. — Atelier de dessiccation avec appareils à tubes; coupe longitudinale.

Fig. 59. — Atelier de dessiccation avec appareils à tubes; coupe transversale.

au maximum de sa course en arrière, il tombe devant lui une certaine quantité de menu desséché. Celui-ci lors du mouvement en avant du piston est refoulé par ce dernier dans le moule, qui va se rétrécissant vers son extrémité antérieure. Les briquettes qui se trouvent déjà dans le moule (au nombre de 20 environ) sont poussées en avant par le piston. Le frottement de celles-ci sur les parois des moules est si grand qu'il constitue une résistance de 1 500 atmosphères environ. Le moule de la presse, solidement établi sur un bâti très lourd, se compose d'une pièce supérieure et d'une pièce inférieure et de deux parois latérales. L'arbre coudé, qui actionne le piston de la presse, est pourvu d'un volant à chacune de ses extrémités. Chacun de ces volants est mû par une bielle, recevant elle-même son mouvement de la tige du cylindre horizontal de la machine. Celle-ci n'a à rendre un grand travail que pendant un court espace de temps.

La disposition de la presse de la ZEITZER EISENGIESSEREI UND MASCHINENBAU-AKTIENGESELLSCHAFT est mise en évidence par les figures 60 et 61<sup>4</sup>. Nous ferons remarquer qu'à cette presse est adjoit un dispositif, dont nous ferons abstraction, destiné à faire subir, à l'aide de la vapeur, une compression préliminaire aux matières très poreuses (sciure de bois, tourbe).

A est le bâti de la presse, A<sub>1</sub> le moule et P le piston ; B<sub>1</sub>B sont les briquettes achevées ; N est le tube de chargement. Dans la figure 61, R est l'espace dans lequel tombent de ce dernier, lorsque le piston s'est retiré, les masses qui doivent être pressées. Lorsque le piston P s'est avancé jusqu'en

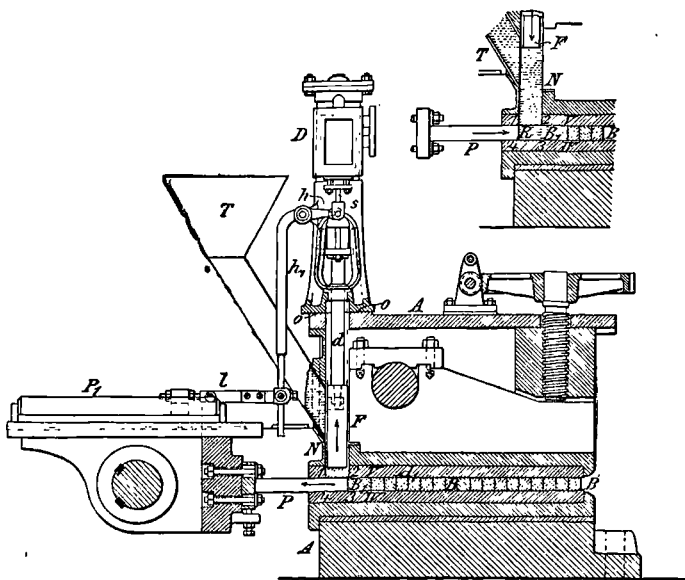


Fig. 60 et 61. — Presse à briquettes.

IV, V, les briquettes sont poussées jusqu'à leur extrême limite. Le piston recule jusqu'en 1,4 et le menu qui se trouve dans le tube N tombe dans l'espace R, où il est pressé lors du mouvement en avant du piston, qui indirectement pousse en même temps plus loin les briquettes achevées.

Les briquettes chaudes sortant de la presse ont une grande tendance à s'enflammer spontanément et doivent, pour éviter cet accident, être refroidies avant leur transport au dépôt ou bien être mises en couches de faible hauteur. Le refroidissement amène un allongement de la briquette égale à  $1/30$  de la longueur de celle-ci.

On emploie les lignites pour la concentration et la vaporisation de liquides, ainsi que pour le chauffage de fours à réverbère. On s'en sert également pour préparer du gaz.

<sup>4</sup> F. FISCHER, *Chem. Technologie der Brennstoffe*, t. II, p. 32.

### Houille.

On désigne sous le nom de houilles les charbons fossiles qui se rencontrent dans des terrains plus anciens que la formation tertiaire. On nomme *anthracites* les houilles qui sont plus anciennes que les charbons de la formation carbonifère proprement dite.

Comme la décomposition de la substance végétale, aux dépens de laquelle la houille s'est formée, a été poussée très loin, celle-ci offre une teneur en carbone plus élevée que le lignite, sa couleur est aussi plus foncée, sa dureté moindre, sa fragilité plus grande et son poids spécifique plus élevé. Elle ne présente pas de structure ligneuse. La teneur en carbone atteint son maximum dans les houilles les plus anciennes, dans l'anthracite.

### Composition.

La houille se compose de *substance carbonneuse* proprement dite, d'*eau hygroscopique*, d'*éléments minéraux (cendre)*, de *gaz inclus mécaniquement*

La *substance carbonneuse* de la houille est formée en grande moyenne de :

Carbone . . . . .	70 — 95 p. 100
Hydrogène . . . . .	2 — 6 —
Oxygène + azote . . . . .	3 — 24 —

La teneur en **hydrogène disponible** (c'est-à-dire la quantité d'hydrogène qui correspond à la différence entre la teneur totale de la houille en ce gaz et la proportion nécessaire pour former de l'eau) est égale à 2,4-2,7 p. 100. Lorsqu'on chauffe la houille à l'abri du contact de l'air, cet hydrogène se dégage en partie combiné avec du carbone sous la forme de différents hydrocarbures. La teneur en azote de la substance carbonneuse s'élève jusqu'à 2 p. 100.

La **composition immédiate de la substance carbonneuse** de la houille n'est pas connue, parce que jusqu'à présent il n'a pas été possible d'en déterminer les principes immédiats et de les isoler.

On admet qu'en général la houille ne contient pas de carbone libre, mais un mélange de combinaisons différentes et peut-être très variées du carbone avec l'hydrogène et l'oxygène. Dans la houille, les atomes de l'hydrogène seraient combinés à du carbone partie immédiatement, partie par l'intermédiaire de l'oxygène.

La teneur de la houille en **eau hygroscopique** s'élève à 1,7 p. 100. Elle ne va que rarement au delà de 5 p. 100. La houille diffère par là essentiellement du lignite, qui après dessiccation à 100° réabsorbe à l'air 10-24 p. 100 d'eau.

Les **éléments de la cendre** des houilles sont formés partie des éléments minéraux des plantes qui ont donné naissance à la houille, partie de minéraux et de roches mélangés mécaniquement. Ces dernières et une partie des minéraux ont été pendant la formation des houilles charriées par les

eaux dans les couches carbonifères. Une autre partie des minéraux s'est formée, sous l'influence d'actions chimiques, aux dépens de dissolutions et de dépôts produits par les eaux. Les éléments des cendres sont surtout des silicates de l'aluminium, du fer, du calcium, du magnésium et des métaux alcalins ; on y trouve en outre de petites quantités de sulfates, de phosphates et de sulfures métalliques. La proportion de la cendre s'élève jusqu'à 30 p. 100. La teneur en cendre est égale à 4-7 p. 100 dans les meilleures espèces de houilles, à 7-14 p. 100 dans les charbons moyens et à plus de 14 p. 100 dans les houilles riches en cendre. La teneur en acide silicique des cendres s'élève en moyenne à 50 p. 100.

La composition de différentes cendres de houille est mise en évidence par les analyses suivantes <sup>1</sup> :

	I	II	III	III	IV
Acide silicique . . . . .	60,230	45,310	27,365	10,639	1,700
Alumine . . . . .	31,630	22,470	22,552	15,224	2,210
Peroxyde de fer . . . . .	6,360	25,830	44,900	51,366	60,790
Chaux . . . . .	1,080	2,880	2,266	12,298	19,220
Magnésic . . . . .	0,350	0,520	—	6,702	5,030
Potasse . . . . .	0,110	0,600	0,300	indéter.	0,350
Soude . . . . .	—	0,280	0,237	indéter.	0,080
Acide sulfurique . . . . .	0,240	2,370	—	2,103	10,730
Acide phosphorique . . . . .	—	—	0,541	0,390	—

Les cendres qui ne contiennent que des silicates d'alumine et du peroxyde de fer sont infusibles. Les cendres avec plusieurs silicates (silicates de fer et silicates de chaux) sont fusibles et donnent lieu, lors de la combustion de la houille, à la formation de scories, qui obstruent les grilles et occasionnent des pertes de combustible, en enveloppant des particules de charbon.

De la pyrite qui se rencontre fréquemment dans les houilles, il se sépare, lorsqu'on brûle celles-ci, du soufre qui donne lieu à la formation, aux dépens du fer des barreaux des grilles, de monosulfure de fer facilement fusible.

Les gaz qui sont inclus mécaniquement dans la houille se sont produits lors de la décomposition de la substance végétale aux dépens de laquelle la houille s'est formée et n'ont pu se dégager par suite du recouvrement des couches carbonifères. La quantité des gaz est extrêmement variable. Elle oscille dans les limites suivantes :

Méthane . . . . .	0	— 90 p. 100
Acide carbonique . . . . .	0,2	— 54 —
Oxygène . . . . .	traces	— 17 —
Azote . . . . .	10	— 90 —

*Poids spécifique.*

Le poids spécifique des houilles s'élève à 1,25-1,60. 1 mètre cube de houille pèse en moyenne 700-900 kilogrammes.

<sup>1</sup> Muck, *Steinkohlenchemie*.

*Manière dont se comportent les houilles lorsqu'on les chauffe à l'abri de l'air.*

Lorsqu'on chauffe la houille à l'abri du contact de l'air, elle se décompose en une série de corps volatils (hydrocarbures, acide carbonique, eau, eau ammoniacale) et un résidu solide, qui contient la majeure partie du carbone et les éléments de la cendre, et est désigné sous le nom de *coke*. Si maintenant la houille pulvérisée est chauffée, dans un vase couvert, rapidement et fortement jusqu'à élimination des corps volatils qui viennent d'être mentionnés, le résidu obtenu offre un aspect différent suivant l'espèce de charbon employée. Il est *pulvériforme*, ou *partie pulvériforme*, *partie fritté*, ou *fritté*, *sans être boursoufflé*, ou *fritté et un peu boursoufflé*, ou *fondue et fortement boursoufflé*.

On nomme **houilles sèches** ou **maigres** les houilles avec résidu pulvériforme, **houilles sèches à coke fritté** celles dont le résidu n'est qu'en partie fritté, **houilles à coke fritté** celles dont le résidu est fritté mais non boursoufflé, **houilles collantes à coke fritté** celles dont le résidu est fritté et un peu boursoufflé et **houilles collantes** ou **grasses** celles dont le résidu est fondu et fortement boursoufflé.

La cause de l'agglomération des houilles sous l'influence de la chaleur ne nous est pas encore connue. Elle ne dépend pas de la composition élémentaire, mais de la constitution chimique des houilles, que nous ignorons. Il peut arriver que de deux sortes de houilles, dont la composition chimique élémentaire est la même, une espèce s'agglomère bien, tandis que l'autre s'agglomère mal ou pas du tout. Les charbons qui sont très riches en hydrogène et en oxygène ne fondent souvent pas plus que ceux qui sont pauvres en ces mêmes éléments.

C'est pour cela qu'on admet que la fusibilité des houilles dépend de la présence de certaines combinaisons du carbone avec l'oxygène et l'hydrogène, que nous ne connaissons pas.

Si l'on dépouille partiellement les houilles de leurs gaz en les chauffant doucement ou si, en n'excluant l'air qu'imparfaitement, on les soumet à une oxydation partielle, on diminue leur fusibilité, et en les chauffant pendant longtemps à 300°, on la détruit même complètement.

Le résidu solide, le coke, qui reste lorsqu'on chauffe les houilles à l'abri de l'air, s'élève, suivant la teneur de celles-ci en éléments volatils, à 59-93 p. 100. Les charbons les plus riches en hydrogène sont ceux qui donnent le moins de coke, parce que une partie en poids d'hydrogène peut volatiliser quatre fois autant de carbone qu'une partie en poids d'oxygène. Par un chauffage lent et peu intense, on augmente la quantité du résidu solide.

C'est aussi pour cela que les charbons riches en hydrogène dégagent le plus d'éléments volatils, lorsqu'on les chauffe à l'abri de l'air. Plus est grande la quantité de ces éléments, plus facilement les charbons se laissent allumer et plus est longue la flamme avec laquelle ils brûlent.

C'est pour cette raison que l'on nomme les charbons riches en hydrogène *houilles à longue flamme* ou *houilles flambantes*, et ceux qui sont pauvres en ce gaz *houilles à courte flamme*.



*Manière dont se comportent les houilles conservées à l'air.*

Abandonnées pendant longtemps à l'air, la houille se décompose en absorbant de l'oxygène. Une partie de ce dernier oxyde de l'hydrogène et une petite quantité du carbone. L'hydrogène se dégage alors sous forme d'eau, le carbone sous forme d'acide carbonique.

En outre, le charbon a la propriété de condenser dans ses pores de grandes quantités de gaz, au nombre desquels se trouve l'oxygène. Par suite de cette circonstance, beaucoup de charbons, lors de leur décomposition à l'air, malgré la perte en hydrogène et en carbone, ne subissent pas de diminution de poids, tandis que d'autres charbons perdent en poids et que pour d'autres encore le poids demeure inaltéré.

D'après F. FISCHER<sup>1</sup>, le changement de poids des charbons se décomposant à l'air dépend de la nature et des proportions de leurs différents éléments constituants. Les charbons qui absorbent rapidement l'oxygène doivent contenir de plus grandes quantités de combinaisons non saturées pour l'oxygène. Suivant les proportions relatives des combinaisons saturées et des combinaisons non saturées contenues dans un charbon, celui-ci devra alors, durant son séjour à l'air, augmenter de poids, rester inaltéré ou diminuer de poids.

Mais il est incontestable que les houilles mises en dépôt à l'air perdent de leur valeur, leur fusibilité (leur pouvoir agglutinant) étant détruite et d'autant plus rapidement que le charbon est en plus petits fragments, que par conséquent la surface qu'il offre à l'oxygène est plus grande. La décomposition au contact de l'air produit le même effet qu'un chauffage peu intense mais prolongé du charbon au contact de l'air.

L'absorption d'oxygène par le charbon, c'est-à-dire le dégagement de chaleur produit par cette absorption, est regardée comme la cause principale de l'*inflammation spontanée* de la houille. L'oxydation de la pyrite contenue dans la houille, oxydation qui se produit surtout dans l'air humide, est considérée comme une autre cause de cet accident. Mais, d'après les observations et les expériences qui ont été faites dans ces derniers temps, cette dernière cause n'offre qu'une importance secondaire. L'opinion, suivant laquelle l'inflammation spontanée des tas de charbon serait empêchée par une bonne aération de ces derniers, n'est donc pas justifiée. L'inflammation spontanée des houilles est au contraire favorisée par la ventilation artificielle. Les charbons menus ont plus de tendance à s'enflammer spontanément que les charbons en morceaux, parce qu'ils offrent à l'action de l'air atmosphérique plus de surface que les derniers<sup>2</sup>.

*Chaleur de combustion.*

La chaleur de combustion des houilles oscille, suivant l'espèce du charbon, entre 8000 et 9600 Cal. Leur pouvoir de vaporisation

<sup>1</sup> Manuel pour l'essai des combustibles et le contrôle des appareils de chauffage, édit. française par L. GAUTIER, p. 113. PARIS, CH. BÉRANGER.

<sup>2</sup> Voy. TABARIÈS DE GRANDSAIGNES, *Etude sur les combustions spontanées*, p. 15, PARIS, CH. BÉRANGER.

s'élève, suivant l'espèce du charbon, à 6,70-9,5 kilogrammes d'eau pour 1 kilogramme de houille.

### Classification des houilles..

On distingue les houilles, d'après leur structure, en houilles piciformes, houilles fuligineuses, houilles schisteuses, houilles feuilletées ou lamelleuses, houilles fibreuses et anthracite.

Suivant la nature de la flamme que donne la houille en brûlant, suivant la composition élémentaire, suivant la quantité et l'aspect du résidu du chauffage à l'abri de l'air (coke), GRUNER<sup>1</sup> a divisé les houilles en les six classes suivantes, y compris l'anthracite :

- 1° Houilles sèches à longue flamme ;
- 2° Houilles grasses à longue flamme ;
- 3° Houilles grasses proprement dites (à flamme moyenne) ;
- 4° Houilles grasses à courte flamme ;
- 5° Houilles maigres ou anthraciteuses à courte flamme ;
- 6° Anthracite.

Cette classification, qui correspond aussi à l'âge géologique des houilles, a été, bien qu'elle ne soit pas irréprochable, presque généralement adoptée. Son défaut principal consiste en ce qu'elle ne permet pas de séparer nettement les différents charbons à cause des termes de passage que ceux-ci présentent ; en outre, la division n'est pas applicable à tous les districts carbonifères et la quantité du résidu (du coke) oscille entre de larges limites, même pour les charbons de même espèce.

La composition et le poids spécifique des charbons appartenant aux divisions mentionnées plus haut, leur rendement en coke et l'aspect de ce dernier sont indiqués dans le tableau suivant :

NOMS DES TYPES OU CLASSES	COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE			RENDE- MENT en coke p. 100.	ASPECT du coke.	POIDS spécifique.
	Carbone p. 100	Hydro- gène p. 100	Oxygène + azote p. 100			
1. Houilles sèches à longue flamme . .	73-80	4,5-5,5	13-19,5	50-60	Pulvérulent, tout au pl. fritté.	1,25
2. Houilles grasses à longue flamme . .	80-85	5-5,8	10-14,2	60-68	Fondu, mais très fendillé.	1,28-1,30
3. Houilles grasses proprement dites (charbons de forge).	85-89	5-5,5	5,5-11	68-74	Fondu moyennement compact.	1,30
4. Houilles grasses à courte flamme (charbons à coke).	88-91	4,5-5,5	5,5-6,5	74-82	Fondu, très compact.	1,30-1,35
5. Houilles maigres ou anthraciteuses à courte flamme .	90-93	4-4,5	3-3,5	82-90	Fritté ou pulvé- rulent.	1,35-1,40
6. Anthracite . . . .	93-95	2-4	3	pl. de 90	Pulvérulent.	1,6

<sup>1</sup> *Traité de Métallurgie*. Première partie.

1° Les **houilles sèches à longue flamme** sont dures, elles ont une cassure plane ou conchoïdale et brûlent avec une longue flamme, en dégageant une fumée épaisse.

Des houilles maigres, avec lesquelles elles ont de commun un coke de même aspect, elles se distinguent par leur rendement en coke beaucoup moindre, leur teneur en éléments volatils beaucoup plus grande (40-50 p. 100) et par leur flamme, qui est longue et fuligineuse, tandis que celle des charbons maigres est courte et claire.

Leur effet calorifique absolu s'élève à 8000-8500 Cal. ; 1 kilogramme de charbon vaporise 6-6,5 kg. d'eau. Le poids de 1 mètre cube s'élève à 700 kilogrammes environ.

Elles se rencontrent en Allemagne dans le district carbonifère de la Haute-Silésie et, en quantité moindre, dans le district de Saarbrück. En France, elles se trouvent près de Blanz y et de Montceau, en Belgique dans le district de Mons. C'est dans la Grande-Bretagne (Ecosse, Staffordshire, Northumberland) qu'elles sont le plus répandues.

2° Les **houilles grasses à longue flamme** sont dures et offrent une structure feuilletée. Elles brûlent comme l'espèce précédente avec une flamme longue et fumeuse. Chauffées à l'abri de l'air, elles fournissent une quantité de corps volatils moins grande (32-40 p. 100) que les houilles sèches à longue flamme (40-50 p. 100), mais le gaz qu'elles produisent possède un pouvoir éclairant plus intense que le gaz de cette dernière espèce de charbon. C'est pour cela qu'on les emploie surtout pour la fabrication du gaz d'éclairage, ainsi que dans les opérations métallurgiques pour la production de longues flammes, et on les nomme pour cette raison *charbons à gaz* ou *houilles flammbantes*.

Leur effet calorifique s'élève à 8500-8800 Cal. 1 kilogramme de charbon vaporise 7-7,5 kg. d'eau. Le poids de 1 mètre cube de ces charbons est égal à 700-750 kilogrammes.

Ces houilles se rencontrent en Allemagne dans les districts carbonifères de la Haute-Silésie, de la Westphalie et de Saarbrück, en Belgique près Mons et Charleroi, en France dans le bassin du Pas-de-Calais et de la Loire, dans la Grande-Bretagne dans les districts du Northumberland et du Lancashire, etc.

3° Les **houilles grasses proprement dites (charbons de forge, houilles marécales)** sont moins dures que les deux espèces précédentes, elles offrent une structure feuilletée, un vif éclat et une couleur brun noir.

Elles brûlent avec une flamme plus courte et moins de fumée que les charbons secs et les charbons gras à longue flamme.

Lorsqu'on les chauffe à l'abri de l'air, elles fournissent 26-32 p. 100 de corps volatils. En Westphalie, elles constituent la principale matière première de la fabrication du coke et c'est pour cela qu'on leur donne le nom de *charbons à coke*

Comme elles ont la propriété de fondre au feu et de s'agglutiner, on les emploie aussi comme combustible pour les forges marécales. Dans ces foyers, elles forment autour de la pièce de fer à travailler une enveloppe protectrice et empêchent que du charbon non encore désulfuré vienne se mettre en contact avec le métal. C'est pour cela qu'on leur donne aussi le nom de *houilles marécales* ou de *charbons de forge*.

Leur effet calorifique absolu s'élève à 8 800-9 300 Cal., leur pouvoir de vaporisation par kilogramme est égale à 8,8 kg. d'eau.

Le poids de 1 mètre cube de ces charbons est égal à 750-800 kilogrammes.

On les rencontre en Allemagne dans les districts carbonifères de la Westphalie et d'Aix-la-Chapelle, en Belgique dans les districts de Liège et de Charleroi, en France dans les bassins houillers de la Loire et du Nord, dans la Grande-Bretagne dans le Yorkshire septentrional, le Durham, le Northumberland et dans la partie orientale du bassin du Pays de Galles, en Amérique dans la Virginie occidentale et la Pensylvanie.

4° Les **houilles grasses à courte flamme** sont friables et elles offrent la structure des houilles grasses proprement dites. Elles s'enflamment plus difficilement et brûlent avec une flamme plus courte, claire et peu fumeuse.

Lorsqu'on les chauffe à l'abri du contact de l'air, elles donnent un coke plus compact que les houilles grasses proprement dites et 18-20 p. 100 de corps volatils. Ces charbons trouvent fréquemment emploi pour la préparation du coke et portent, pour cette raison, le nom de *charbons à coke*. En Westphalie, où les charbons gras proprement dits sont appelés *charbons à coke*, on nomme les houilles de cette espèce *houilles demi-grasses*.

Leur effet calorifique absolu s'élève à 9 300-9 600 Cal. et il est plus grand que celui de tous les autres charbons. Le pouvoir de vaporisation est égal à 9,25-10 kg. d'eau par kilogramme de charbon.

On les rencontre dans les districts carbonifères de la Westphalie et du Bas-Rhin, en Belgique dans les bassins de Charleroi et de Liège, en France dans les bassins du Creusot, de Rive-de-Gier et du Gard, en Angleterre dans le Pays de Galles, à Cardiff.

5° La **houille maigre anthraciteuse à courte flamme** est difficilement inflammable et brûle avec une flamme courte, sans fumée.

Chauffée à l'abri de l'air, elle fournit un coke pulvérulent et 10-18 p. 100 de corps volatils. En Westphalie, on lui donne le nom de *houille maigre* ou de *houille à coke pulvérulent*.

Son effet calorifique absolu s'élève à 9 200-9 500 Cal. ; son pouvoir de vaporisation par kilogramme est égal à 8,12-9,5 kg. d'eau.

Elle se trouve en Allemagne dans les districts carbonifères de la Westphalie et du Bas-Rhin, à Piesberg près Osnabrück, en Belgique dans les districts de Charleroi et de Liège, en France dans les bassins de Valenciennes, de la Sarthe, du Roannais, de la Loire-Inférieure, du Gard et de la Creuse, en Angleterre dans le Pays de Galles.

6° L'**anthracite** est cassant, il offre une cassure conchoïdale ou inégale et d'une couleur noir foncé. Il est très difficilement inflammable et combustible, et il brûle avec une flamme peu éclairante, mais sans fumée, et souvent en décrépitant. Extérieurement, il se distingue des autres sortes de charbon en ce qu'il ne contient pas de charbon fibreux, comme il s'en trouve sur les surfaces de séparation des autres houilles.

Chauffé à l'abri de l'air, il fournit 8-10 p. 100 de corps volatils.

Son effet calorifique absolu s'élève à 9000-9200 Cal., son pouvoir de vaporisation est égal à 9 kilogrammes d'eau par kilogramme d'anthracite.

On s'en sert comme combustible et agent de réduction dans l'extraction du fer et pour évaporer des liquides. Son emploi est très répandu aux États-Unis de l'Amérique du Nord.

*Préparation préliminaire des houilles.*

Les houilles mélangées de minéraux et de roches, ainsi que le menu des houilles collantes destiné à la fabrication du coke sont en général soumis à une préparation mécanique préliminaire, par laquelle la teneur en cendre des bonnes houilles est abaissée à 3-4 p. 100, et celle des mauvaises à 5-8 p. 100. Le menu des houilles maigres et celui de l'anhracite ne peuvent pas être transformés en coke sans additions et n'ont par suite que peu de valeur en comparaison des morceaux de ces espèces de charbons. Mais on peut augmenter la valeur de ces menus en les agglomérant à l'aide d'agents agglutinants et les moulant en briquettes. Parmi les nombreux corps qui ont été proposés comme agents agglutinants (goudron de houille, brai sec et brai gras, asphalte, cellulose, empois de fécule de pomme de terre ou d'amidon, mélasse, gelées de mousses ou d'algues, argile limoneuse, gypse, alun, ciment, chaux, sel marin, verre soluble), le *brai sec*, produit secondaire de la distillation du goudron de houille, s'est montré le plus convenable.

Le menu de houille, dont la grosseur de grain s'élève jusqu'à 7 millimètres, est d'abord mélangé avec du brai pulvérisé, dans la proportion de 4,5 à 7 kilogrammes pour 100 kilogrammes de menu, après quoi la masse est ramollie par chauffage dans des fours à réverbère.

La masse ramollie est ensuite moulée en briquettes au moyen de presses.

Le brai, qui est obtenu comme résidu de la distillation du goudron de houille, est d'abord pulvérisé à l'aide d'un moulin à meules verticales, après quoi il est mélangé avec le menu des houilles ; ce mélange est effectué dans une machine centrifuge. La masse est maintenant chargée dans des fours, où elle est chauffée à une température suffisante pour la ramollir.

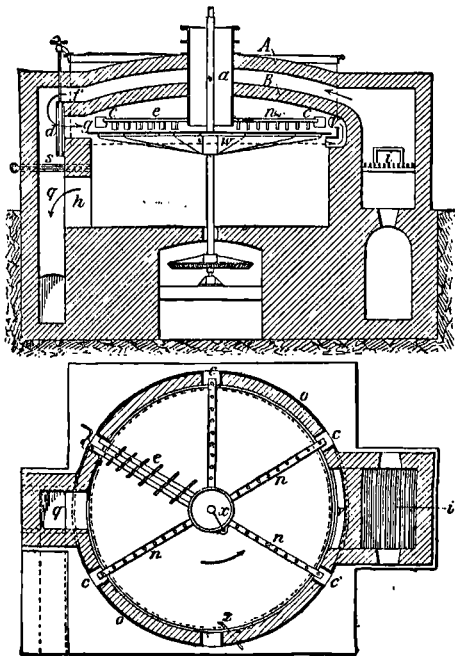


Fig. 62 et 63. — Four de Heim; coupe verticale et plan.

Le four imaginé dans ce but par HEIM<sup>4</sup> est représenté par les figures 62 et 63. *i* est le foyer, B la voûte du four. Au-dessus de cette dernière, se trouve une deuxième voûte A. Les gaz du foyer pénètrent dans le four en passant par l'intervalle entre les deux voûtes et l'ouverture *g*, qui peut être fermée au moyen d'un registre. Après avoir traversé le laboratoire du

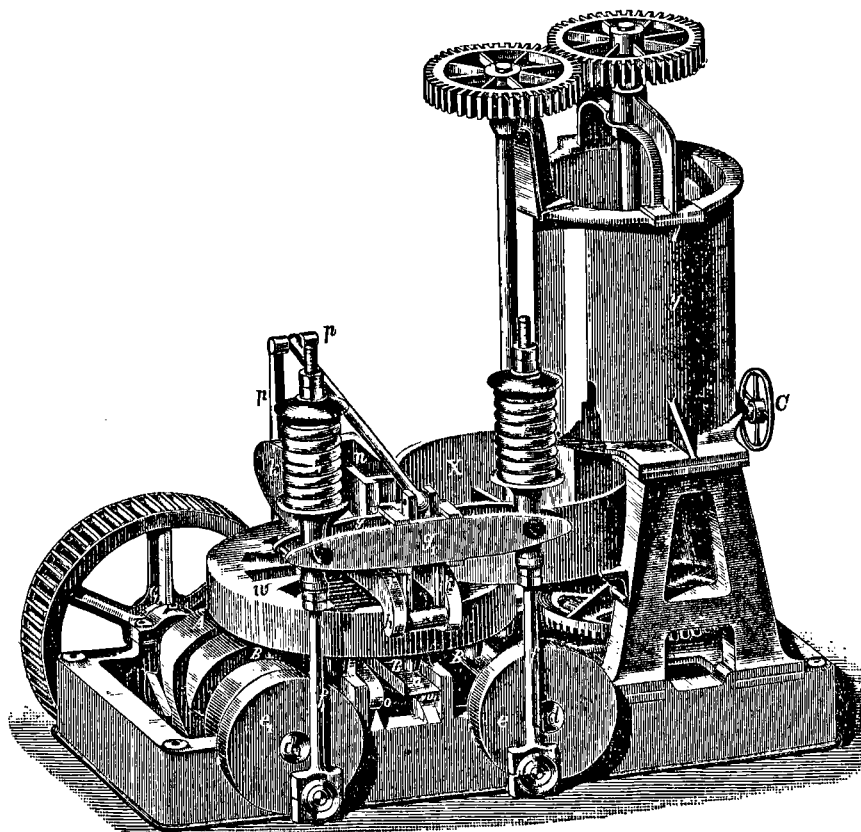


Fig. 64. — Machine de Couffinhall à double compression pour l'agglomération des menus de houille, vue extérieure.

four, ils passent par le rampant V au-dessous de la sole et par l'ouverture *h*, dans le canal *g*, qui les conduit à la cheminée. La température du four est réglée à l'aide des registres *d* et *s*. La sole tourne avec un arbre *w*, qui est mû à l'aide de roues coniques. Les masses qui se trouvent sur la sole sont brassées au moyen des tiges de fer *n* munies de dents et leur mouvement est produit à l'aide de palettes obliques mobiles *e*, qui, en vue du changement de leur position, sont reliés en même temps à une tige mobile et à une tige fixe. *a* est le cylindre destiné au chargement du

<sup>4</sup> F. FISCHER, *Chemische Technologie der Brennstoffe*, t. II, p. 48.

mélange. Celui-ci est poussé sur la sole par le couteau  $x$ , et au moyen des tiges dentées et des palettes inclinées il est amené peu à peu du centre de la sole rotative à sa périphérie, d'où il est évacué du four par le couteau  $z$ . La masse est soumise dans le four à une température de  $80^{\circ}$ , à laquelle le brai est ramolli. Elle tombe sur une vis d'Archimède, qui la transporte à la presse, à l'aide de laquelle le moulage est effectué.

On peut employer pour le *moulage* des machines avec moules ouverts

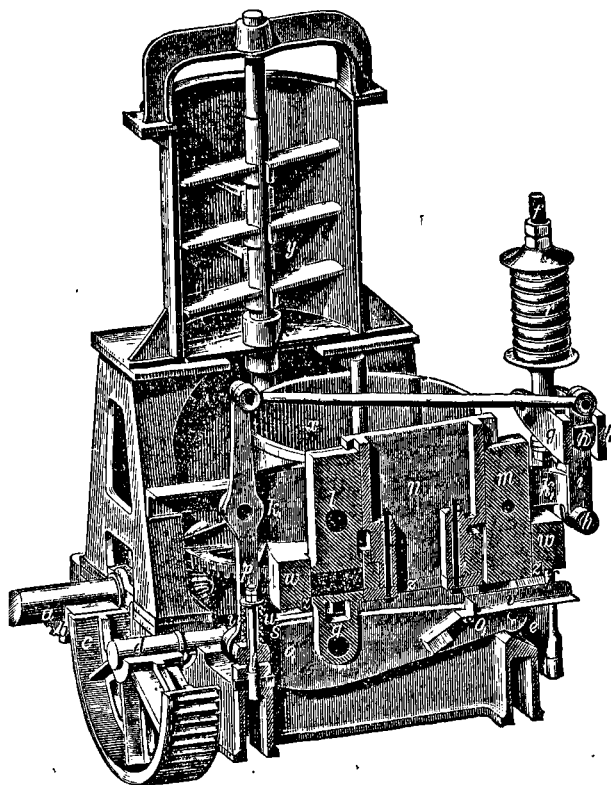


Fig. 65. — Machine de Couffinhall à double compression ; coupe verticale.

ou des machines avec moules fermés. Ce sont ces dernières qui sont généralement usitées, et en Allemagne, en France, en Angleterre et aux Etats-Unis les machines de COUFFINHALL, dont la disposition est mise en évidence par les figures 64 et 65, ont été adoptées par un très grand nombre d'usines<sup>1</sup>. Dans ces appareils les briquettes sont préparées par *double compression* (à l'aide de deux pistons). La pression s'élève à 100 kilogrammes par centimètre carré.

Les moules se trouvent au nombre de 12, placés radialement, sur le plateau mouleur rotatif  $w$ . Le mélange plastique de charbon et de brai,

<sup>1</sup> BECKERT, *Leitfaden der Eisenhüttenkunde*, p. 49 et 50.

est introduit par les bras rotatifs du vase cylindrique X. Par une ouverture ménagée dans le fond de ce dernier, le mélange tombe dans les moules, amenés au-dessous de cette ouverture par la rotation du plateau mouleur. Le vase X reçoit le mélange du malaxeur  $y$ , auquel il est amené par une vis d'Archimède, du four où il a été préalablement ramolli. La quantité du mélange qui doit être déversée dans le vase X est réglée au moyen d'un registre, que l'on fait mouvoir à l'aide de la roue à main C. La compression de la masse dans les moules est produite supérieurement par le piston  $l$  et inférieurement par le piston  $q$ , actionnés au moyen de leviers. Le démoulage des briquettes achevées a lieu au moyen d'un troisième piston, le piston démouleur  $m$ , sous lequel les moules sont amenés lors de la rotation du plateau mouleur. Les briquettes sont refoulées par le piston démouleur sur la table à secousses  $v$ , de laquelle elles tombent sur une toile sans fin, qui les transporte dans le local où elles doivent être déposées.

Le piston presseur  $l$  et le piston démouleur  $m$  sont actionnés par les leviers  $k$  et  $k'$ , auxquels est transmis le mouvement de la traverse double  $gg'$  par l'intermédiaire des axes  $h$  et  $h'$  et des tirants  $i$  et  $i'$ . Le mouvement de la traverse est produit par les bielles  $f$  et  $f'$  et les excentriques  $e$  et  $e'$ . Ceux-ci sont calés sur les arbres  $d$  et  $d'$  munis des roues dentées  $c$  et  $c'$ , qui sont actionnées par le pignon  $b$  de l'arbre  $a$  de la machine. Le piston presseur et le piston démouleur sont guidés par la pièce intermédiaire  $n$ . Le piston  $q$  est mù par les leviers  $o$  et  $o'$ . Les masses qui se trouvent dans les moules sont d'abord comprimées supérieurement par le piston presseur  $l$ .

Lorsque la résistance qu'éprouve le piston presseur dans son mouvement descendant, par suite du frottement du mélange sur les parois du moule et de la résistance du piston inférieur  $q$ , a atteint une certaine intensité, il se produit une réaction, le piston  $q$  est alors poussé de bas en haut à l'aide des tirants  $p$  et  $p'$  et des leviers  $o$  et  $o'$ , et il comprime la face inférieure de la briquette contenue dans le moule.

Le plateau mouleur  $w$  reçoit son mouvement par l'intermédiaire du tambour A, calé sur l'arbre  $d$ . Ce dernier est muni de rainures de forme particulière, dans lesquelles s'adaptent les galets conducteurs du plateau. Les rainures produisant le mouvement de celui-ci contournent le tambour en décrivant une hélice, tandis que celles qui l'amènent au repos sont circulaires.

Le poids d'une briquette varie de 1 à 10 kilogrammes. Le rendement d'une machine en dix heures est de 20 tonnes pour les briquettes de 1 kilogramme, de 50 tonnes pour celles de 3 kilogrammes, de 80 tonnes pour celles de 5 kilogrammes, et de 160 tonnes pour celles de 10 kilogrammes. La force motrice nécessaire s'élève à 18, 40, 70 et 90 chevaux, suivant le rendement.

[COUFFINHALL a également construit une *machine à triple compression*, qui donne des résultats encore plus avantageux que le système précédent <sup>1</sup>.]

<sup>1</sup> Voy. pour la description de la machine à triple compression et pour d'autres appareils à agglomérer U. LE VERRIER, *Procédés de chauffage*.



b. — COMBUSTIBLES LIQUIDES

Les *combustibles liquides* qui se rencontrent dans la nature sont des **hydrocarbures** et ils sont appelés *huile de pétrole, pétrole* ou *naphte*.

On trouve le pétrole dans l'Amérique du Nord, en Russie (Bakou), en Galicie, en Roumanie, à Java, ainsi que, mais en petites quantités, en Allemagne (Peine, dans le Hanovre, Pechelbronn en Alsace, etc.). Les gisements les plus importants sont ceux de l'Amérique du Nord (Pensylvanie, Ohio, Virginie, Kentucky, Tennessee) et de Bakou, sur le bord de la mer Caspienne.

Le pétrole à l'état pur constitue un liquide mobile, de couleur claire et d'une odeur particulière, mais il offre d'ordinaire une coloration foncée (noire).

Son poids spécifique oscille entre 0,777 et 0,957. Le pétrole est d'autant plus léger que sa coloration est plus claire.

Il se volatilise en partie à l'air, et la portion qui reste est plus épaisse. La volatilité à l'air augmente avec la teneur du pétrole en hydrogène et elle diminue avec la teneur en carbone.

Le point d'ébullition du pétrole oscille, suivant sa composition, entre 110 et 300°.

La composition du pétrole varie, d'après H. HÖFER<sup>1</sup>, dans les limites suivantes :

Carbone	: 79,5 — 88,7	p. 100
Hydrogène	: 9,6 — 14,8	—
Oxygène	: 0,9 — 6,9	—

La teneur en azote, dont la présence dans le pétrole n'est pas constante, ne dépasse pas 1,10 p. 100.

Lorsqu'on chauffe le pétrole à l'abri de l'air, les huiles volatiles distillent facilement et il reste un résidu. Dans la pratique, on distingue : 1° les huiles volatiles ou huiles légères, qui passent à 150°, 2° les huiles difficilement volatiles ou huiles lourdes, qui passent à 200° (huile d'éclairage) et 3° les résidus. En soumettant ces produits à la distillation fractionnée, on peut obtenir d'autres produits assez nombreux.

La chaleur de combustion du pétrole varie suivant sa provenance et sa constitution. D'après GINTL<sup>2</sup>, les chaleurs de combustion de 1 kilogramme de pétrole de différents districts s'élèvent aux chiffres suivants :

Pétrole de la Virginie occidentale . . . . .	40 180	Cal.
— de la Pensylvanie . . . . .	9 963	—
— de Java . . . . .	10 831	—
— de Bakou . . . . .	11 460	—
— de la Galicie orientale . . . . .	10 085	—
— de la Galicie occidentale . . . . .	10 231	—
— de la Roumanie . . . . .	10 005	—

On emploie comme combustible, aussi bien le pétrole brut, que les résidus

<sup>1</sup> HANS HÖFER, *Das Erdöl und seine Verwandten*, p. 37.

<sup>2</sup> HÖFER, *Loc. cit.*, p. 64.

liquides provenant de sa distillation, en vue de la préparation de l'huile d'éclairage (kérosine).

Le pétrole et les résidus liquides de la préparation de la kérosine ne sont pas seulement employés pour le chauffage des chaudières à vapeur et des chaudières de distillation, ils trouvent aussi emploi pour le chauffage des fours à puddler et à réchauffer (Amérique du Nord), ainsi que pour la fonte des minerais de cuivre et le raffinage du cuivre (Caucase).

### c. — COMBUSTIBLES GAZEUX (GAZ NATURELS)

Les *combustibles gazéiformes qui se rencontrent dans la nature* sont certains **hydrocarbures** qui, dans les districts pétrolifères, se dégagent des fissures du sol ou de trous de sonde et qui souvent se tarissent au bout d'un certain temps. On les nomme *gaz naturels*.

Ils se trouvent surtout en grande quantité dans les environs de Pittsburg et d'Alleghany en Pensylvanie, où ils sont recueillis au moyen de trous de sonde et amenés où ils doivent être employés au moyen de conduits, dont la longueur s'élève souvent à plusieurs milles. La pression sous laquelle ces gaz se trouvent dans les trous de sonde est égale à 7-14 kilogrammes par centimètre carré.

On se sert de ces gaz comme combustibles dans l'extraction du zinc et la préparation du fer et de l'acier fondus au four à réverbère. Ainsi, par exemple, dans les usines de Homestead, près Pittsburg, 14 fours à acier sont chauffés au gaz.

La composition du gaz naturel varie dans les limites suivantes :

Méthane. . . . .	68,4-94,0	vol.	p. 100
Ethylène . . . . .	0,6-0,8	—	—
Hydrogène. . . . .	2,9-29,8	—	—
Oxyde de carbone . . . . .	0,4-0,8	—	—
Acide carbonique . . . . .	0-0,8	—	—
Oxygène. . . . .	0,4-2,6	—	—
Azote . . . . .	0-4,29	—	—

La chaleur de combustion du gaz naturel oscille, suivant sa composition, entre 6060 — 9000 Cal. par mètre cube.

### B. — Combustibles artificiels.

Comme les combustibles naturels, on distingue les combustibles artificiels en combustibles solides, liquides et gazeux.

Les combustibles solides sont : le charbon de bois, le charbon de tourbe, le charbon de lignite et le coke de houille ; les combustibles liquides : le pétrole et les résidus de naphte ; les combustibles gazeux : les gaz de carbonisation (gaz d'éclairage, gaz des fours à coke, gaz Riché), le gaz de gazogènes, le gaz des hauts fourneaux (gaz de gueulard), le gaz à l'eau et le gaz mixte.

a. — COMBUSTIBLES ARTIFICIELS SOLIDES

Ces combustibles sont obtenus par carbonisation de combustibles naturels. La carbonisation est une distillation sèche des combustibles, par laquelle le carbone contenu dans ces derniers est concentré dans un résidu solide, tandis que leur hydrogène, leur oxygène et leur azote, ainsi qu'une partie de leur carbone sont volatilisés sous forme de différentes combinaisons.

**Charbon de bois.**

Le *charbon de bois* est le produit de la carbonisation complète du bois

Lorsqu'on chauffe le bois à l'abri de l'air, il perd d'abord son eau hygroscopique. Si la température s'élève à 150°, il se décompose en prenant d'abord une coloration rouge brun et constitue alors le *bois roux*; ensuite (entre 170° et 250°), il se transforme en un charbon très fragile, poreux et de couleur brun rouge, que l'on désigne sous le nom de *charbon roux*, enfin, entre 250° et 400°, il donne un charbon dur, de couleur noire, le *charbon de bois* ou *charbon noir*.

Les produits de décomposition gazeux, qui se dégagent du bois ainsi traité, consistent surtout en eau, hydrogène, acide carbonique, oxyde de carbone, hydrocarbures; on y trouve, en outre, les principes immédiats du vinaigre de bois et du goudron de bois. Ces deux derniers corps sont obtenus sous forme liquide par condensation de certaines parties des produits de la décomposition. Le vinaigre de bois est un liquide aqueux, le goudron de bois une huile de couleur jaunâtre ou brune.

Le *vinaigre de bois* se compose d'eau, d'acide acétique, d'un peu d'acide formique, d'acide propionique, d'acide butyrique, d'acide valérianique, de petites quantités de pyrocatechine, de créosote et d'esprit de bois, et ce dernier est un mélange d'alcool méthylique, d'alcool allylique, d'acétone et d'acétate de méthyle.

Le *goudron de bois* se compose de résines pyrogénées, de matières colorantes, de paraffine, de naphthaline, de créosote, d'acide pyrogallique et de plusieurs hydrocarbures liquides comme le benzène, le toluène, le chylène.

Le premier produit de décomposition du bois, le **bois roux**, n'est pas l'objet d'une fabrication particulière, il n'est obtenu que comme produit secondaire de la préparation de l'esprit de bois, de l'acétone et de la créosote avec le bois de hêtre, dans lequel cas il est employé comme combustible.

Il se compose de :

Carbone . . . . .	52,66 p. 100
Hydrogène . . . . .	5,78 —
Cendres . . . . .	0,43 —
Eau . . . . .	4,49 —
Oxygène . . . . .	36,64 —

Le deuxième produit, le **charbon roux**, n'est employé que pour la fabrication de la poudre à tirer.

Il se compose de :

Carbone . . . . .	74,0 p. 100
Eau chimiquement combinée . . . . .	24,5 —
Cendre. . . . .	1,5 —

Le dernier produit est le **charbon de bois proprement dit, ou charbon noir.**

Il est poreux, dur, brillant, sonore, et il offre une couleur noir bleuâtre. Suivant que le charbon a été préparé avec des bois durs ou des bois mous, on distingue le **charbon dur** et le **charbon mou**. Le charbon de bois destiné aux opérations métallurgiques, qui sont effectuées dans des fours à cuve, doit être *dur*.

#### *Composition du charbon de bois.*

Le charbon de bois se compose de *carbone, d'eau hygroscopique, d'éléments minéraux (cendre) et de gaz inclus mécaniquement.*

La **teneur en carbone** s'élève, si l'on fait abstraction des gaz absorbés par le charbon, à 85 p. 100, et en tenant compte de ces gaz à 80,1 p. 100.

On peut admettre 12 p. 100 pour la teneur du charbon en **eau hygroscopique**. Ce combustible est par conséquent très hygroscopique. Il attire des quantités d'eau d'autant plus faibles qu'il a été préparé à une plus haute température.

Il est donc nécessaire de conserver le charbon de bois dans des locaux secs ou de l'employer lorsqu'il vient d'être préparé.

Les **éléments de la cendre** sont les mêmes que ceux de la cendre du bois, avec lequel le charbon a été préparé. La teneur moyenne en cendre s'élève à 3 p. 100.

La présence de **gaz** dans le charbon de bois est due à la propriété que ce produit possède d'absorber les gaz. A une haute température, les gaz sont en partie expulsés. C'est pour cela que le charbon de bois fraîchement préparé contient d'autant moins de gaz qu'il a été fabriqué à une plus haute température. On peut admettre qu'en moyenne la teneur en gaz du charbon de bois séché à l'air s'élève à 1,8 p. 100 d'hydrogène et 3,1 p. 100 d'oxygène et d'azote.

D'après ce qui précède, le charbon de bois offre la *composition moyenne* suivante : carbone 85 p. 100, eau hygroscopique 12 p. 100 et cendre 3 p. 100, *sans tenir compte de la teneur en gaz*, ou carbone 80,1 p. 100, hydrogène 1,8 p. 100, oxygène + azote 3,1 p. 100, eau hygroscopique 12 p. 100 et cendre 3 p. 100, *en tenant compte des gaz.*

#### *Poids spécifique.*

Le poids spécifique du charbon de bois dépend de l'espèce du bois avec lequel il a été préparé, et de la marche de la carbonisation. Le bois dur donne un charbon plus dense que le bois tendre ; lorsque la carbonisation a été rapide, le charbon est plus poreux que lorsqu'elle a été lente. Si l'on fait abstraction des pores, le poids spécifique du charbon dur est égal à 0,35 — 0,50, celui du charbon tendre à 0,20 — 0,40.

Le poids de 1 mètre cube de charbon de bois séché à l'air s'élève à 125-180 kilogrammes pour le charbon des bois à feuilles aciculaires ; à 140-200 kilogrammes pour celui des bois tendres à feuilles larges ; à 200-240 kilogrammes pour celui des bois durs à feuilles larges.

#### *Combustibilité.*

La température d'inflammation du charbon de bois dépend de sa capacité et de la température à laquelle il a été préparé. Elle s'élève à 360-370° pour le charbon qui a été préparé à 350-400°, à 600-800° pour celui qui a été obtenu à la température de fusion du platine. Le charbon de bois brûle sans fumée et sans flamme. Il ne se produit une flamme que lorsque le charbon renferme des morceaux insuffisamment carbonisés et lors de la réduction en oxyde de carbone par le charbon incandescent de l'acide carbonique produit par la combustion.

#### *Chaleur de combustion.*

Si l'on ne tient pas compte de la teneur en cendre, de la teneur en eau et des gaz absorbés, la chaleur de combustion du charbon de bois est égale à celle du carbone pur (8080 Cal.). On admet qu'en général elle s'élève à 7000-8000 Cal. ; avec le charbon conservé en magasin, elle n'est que de 6000-6900 Cal.

Le bois qui est nécessaire pour la préparation d'une certaine quantité de charbon développe lors de sa combustion deux fois autant de calories que cette quantité de charbon. Cela tient à ce que lors de la carbonisation du bois, il se perd par gazéification environ 40 p. 100 de sa teneur en carbone.

#### *Emploi du charbon de bois.*

Le charbon n'a besoin de subir, avant son emploi, aucune préparation préliminaire. Conservé en magasin, il éprouve une perte s'élevant jusqu'à 5 p. 100, par suite du frottement des morceaux de charbon les uns contre les autres et d'une oxydation lente donnant naissance à de l'acide carbonique. C'est pour cela qu'il est convenable d'employer le charbon de bois aussitôt que possible après sa fabrication.

Comme le charbon de bois renferme peu de cendre et que celle-ci est toujours la même et sans action nuisible, il est très apprécié pour les opérations métallurgiques, qui exigent un contact immédiat du combustible avec le corps à chauffer. Dans ces derniers temps, il a été remplacé par le coke de houille, moins cher. Actuellement, il ne trouve emploi que dans les régions où il existe de grandes forêts et où les combustibles minéraux sont chers, ainsi que pour les procédés métallurgiques à l'aide desquels on doit préparer des produits d'une pureté particulière.

### PRÉPARATION DU CHARBON DE BOIS

Si la carbonisation du bois est conduite rapidement, une partie est déjà convertie en charbon, alors que l'autre partie dégage encore de la vapeur

d'eau. Celle-ci, lors de son contact avec les charbons incandescents, entraîne une partie du carbone de ces derniers combiné sous forme gazeuse à de l'oxygène et à de l'hydrogène. Le rendement en charbon doit, par suite, avec une carbonisation rapide, être plus faible qu'avec une carbonisation lente, dans laquelle la transformation du bois en charbon n'a lieu qu'après l'élimination de l'eau. Il est donc nécessaire, si l'on veut obtenir un rendement élevé en charbon, de conduire la carbonisation lentement, et de soumettre à celle-ci du bois aussi pauvre en eau que possible. Ce n'est que dans les cas où la fabrication du charbon n'occupe qu'un rang secondaire, tandis que la préparation de l'esprit de bois et du goudron constitue le but principal de la carbonisation, que celle-ci est conduite rapidement en vue de l'obtention de produits de distillation carbonés aussi nombreux que possible.

Les dispositifs en usage pour la carbonisation du bois sont : des *meules*, des *tas*, des *fosses* et des *fours*. La température nécessaire pour la carbonisation est produite soit par combustion d'une partie du bois à carboniser, soit par des foyers spéciaux. Si, avec la carbonisation, l'obtention de produits de distillation constitue aussi le but principal, l'opération est pratiquée dans des fours-meules ou dans des cornues.

Nous avons à distinguer :

1° La carbonisation dans laquelle le but principal est l'obtention de charbon de bois ;

2° La carbonisation dans laquelle le but principal est à la fois la préparation de charbon de bois et l'obtention de produits de distillation ;

3° La carbonisation dans laquelle le but principal est l'obtention de produits de distillation.

#### 1. — Carbonisation dans laquelle la fabrication de charbon de bois est le but principal.

La carbonisation est effectuée dans ce cas en meules, en tas, en fosses et en fours. La carbonisation en meules et la carbonisation en tas, qui n'ont pas besoin d'emplacements fixes, sont, dans nos climats, effectuées le plus avantageusement en été et en automne, parce que c'est dans ces saisons que règne le temps le plus favorable et qu'on se procure le plus facilement les matériaux nécessaires pour ces modes de carbonisation (gazon, mousse, feuilles, menu bois, eau).

##### *Carbonisation en meules.*

On désigne sous le nom de meule un tas construit suivant des règles déterminées avec le bois à carboniser, de forme à peu près hémisphérique, et qui, jusqu'à un certain degré, est mis à l'abri du contact de l'air au moyen d'une enveloppe mobile (faite avec du gazon, des branches de sapin, des feuilles, du poussier de charbon, de la terre). Le bois à carboniser est employé sous forme de bûches de différentes grosseurs, de rondins, de croutes et de déchets.

On distingue les meules, suivant la manière dont le bois à carboniser y est disposé, en **meules verticales** et **meules horizontales**.

Dans les **meules verticales**, le bois est disposé en anneaux concentriques

autour de l'axe de la meule, de façon que les différents morceaux de bois ne soient que peu inclinés sur l'axe.

Dans les meules horizontales, les morceaux de bois sont placés hori-

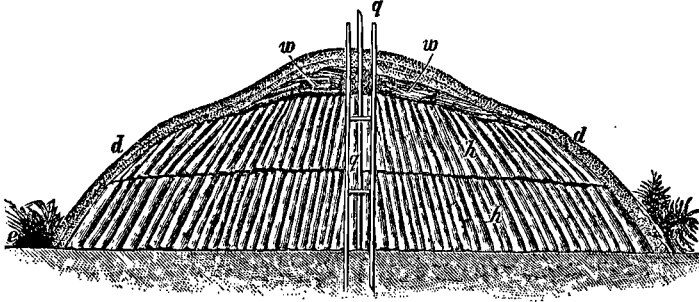


Fig. 66. — Meule romane.

zontalement, de façon à se trouver dans la direction radiale de l'axe de la meule.

On distingue les meules verticales, d'après leur mode de construction, en :

- Meules romanes ;
- Meules slaves, et
- Meules norvégiennes.

La meule romane est pourvue d'une cheminée, qui occupe son axe vertical et est formée de trois à quatre pieux maintenus écartés les uns des

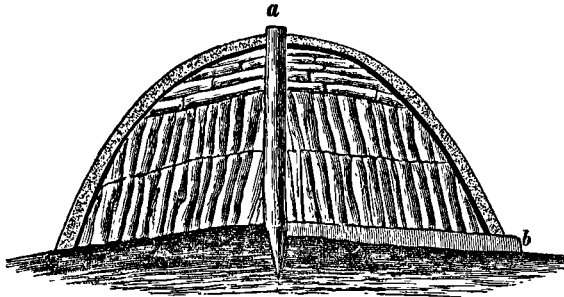


Fig. 67. — Meule slave.

autres au moyen de barres transversales ; la masse de la meule se compose de deux ou trois couches de bois. La couche supérieure, le dôme, est formée, afin de donner à la meule la forme arrondie qui convient, de bûches ou de bois de branches placés horizontalement. La figure 66 représente une meule romane. *q* désigne la cheminée, *h, h* sont les bûches, *w* est le dôme, *d* le revêtement de la meule formé de deux couches ; *c* est une couronne de menus branchages destinée à soutenir le revêtement.

La meule slave ne se distingue de la précédente qu'en ce qu'à la place de la cheminée elle est pourvue d'un pieu enfoncé dans la terre (*a*, fig. 67),

qui est relié avec la périphérie de la meule au moyen d'un canal ménagé sur la sole (le carneau d'allumage), qui sert à mettre le feu à la meule.

La meule norvégienne, possède, comme la meule romane, une cheminée *a* (fig. 68), mais, au lieu d'être composée de bûches et de rondins,

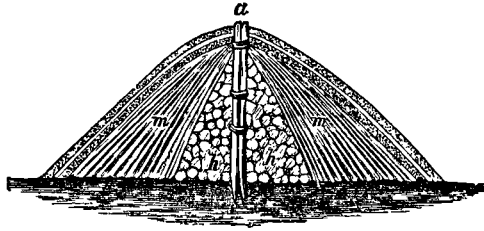


Fig. 68. — Meule norvégienne.

elle est faite de planches minces *m*, de forme irrégulière, dites *croutes*, qui s'appliquent sur un tas conique *h* de déchets de bois grossiers.

Les meules horizontales possèdent dans leur axe vertical, comme les meules verticales, soit une cheminée, soit un pieu enfoncé dans la terre.

#### *Construction des meules.*

La construction d'une meule comprend la préparation de l'aire sur laquelle la meule doit être établie, l'érection de celle-ci et l'établissement de sa couverture.

#### *Préparation de l'aire.*

L'aire est établie aussi près que possible du lieu d'où le bois doit être retiré. Son emplacement doit être choisi de façon que l'apport du bois et l'enlèvement du charbon puissent être effectués commodément, qu'il soit

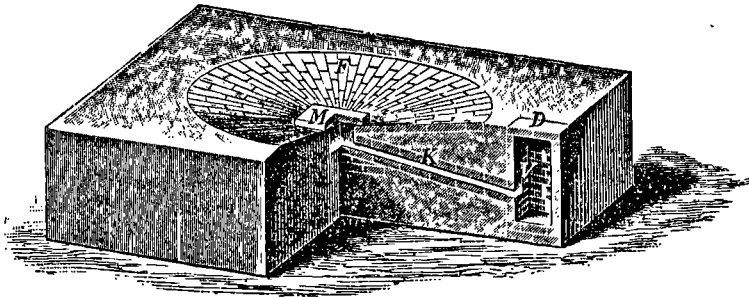


Fig. 69. — Aire de carbonisation disposée pour recueillir les produits secondaires.

autant que possible à l'abri du vent et de l'humidité et qu'il permette de se procurer sans peine les matériaux nécessaires pour l'érection de la meule (gazon, terre, eau, menus branchages). Le sous-sol doit être perméable, il ne doit être ni trop humide, ni trop meuble et trop sec, parce qu'un sol humide empêche une carbonisation uniforme, tandis qu'un sol trop sec et trop meuble donne lieu à un tirage trop intense.



En général, l'aire se déplace avec le lieu où se trouve le bois à carboniser. On n'établit une aire *fixe* que lorsque l'emplacement permet la carbonisation d'une grande quantité de bois se trouvant dans le voisinage.

Pour établir une aire *mobile*, on enlève le gazon, les pierres et les racines de l'emplacement choisi et l'on aplanit celui-ci de telle façon que l'aire soit légèrement excavée dans son milieu. Si l'emplacement est humide, on y établit une grille en bois, que l'on recouvre d'une couche de poussière de charbon épaisse de 25 à 75 centimètres.

Les aires de *carbonisation fixes* sont faites avec une maçonnerie de briques, et établies ordinairement de façon qu'une partie des produits volatils de la décomposition du bois puisse être recueillie. La figure 69 représente une aire ainsi disposée. F' est la surface, uniformément inclinée vers le point central M, sur laquelle la meule est érigée. Grâce à cette inclinaison, les produits liquides de la carbonisation se rassemblent dans l'excavation ménagée au-dessous de M et coulent de celle-ci, par le canal incliné K, dans le bassin collecteur V, duquel ils peuvent être retirés, après enlèvement de la plaque D.

#### *Érection de la meule.*

L'aire ayant été préparée, on procède à l'*érection* de la meule.

#### *Erection de la meule verticale.*

On établit d'abord la cheminée (et pour cela on enfonce dans l'aire des tiges de bois de 3 mètres environ de longueur, en circonscrivant un triangle isocèle ayant à peu près 20 centimètres de côté), ou bien on enfonce dans l'aire le pieu tenant la place de la cheminée. Au pied de cette dernière on accumule des matières facilement inflammables (copeaux de sapin, fumérons, bois fendu en petits morceaux), qui serviront à l'allumage de la meule. On place ensuite autour du pied de la cheminée du bois mince facilement inflammable. Cela fait, on dispose autour de celle-ci, s'il s'agit d'une meule romane, ou autour du pieu, s'il s'agit d'une meule slave, des rangées concentriques de bois, de façon que l'extrémité la plus mince des différentes bûches soit tournée par en haut. On place les bois les plus gros dans la couche inférieure et on établit sur celle-ci une seconde couche et quelquefois même une troisième. La partie supérieure de la meule, le dôme, est, comme on l'a déjà dit, faite avec des bûches ou du bois de branches placé horizontalement. Tout le bois est disposé de façon à laisser aussi peu d'intervalles que possible, afin d'éviter un trop grand afflux d'air et une perte de charbon par combustion. Le côté de l'écorce du bois est tourné en dehors, le cœur du côté de la cheminée. On fait souvent communiquer la sole de la cheminée de la meule romane avec la périphérie de celle-ci, au moyen d'un canal horizontal ménagé dans la couche de bois inférieure; ce canal, dit carneau d'allumage, sert pour allumer la meule. Lorsqu'il fait défaut, l'allumage de la meule a lieu directement par la cheminée.

La *meule slave* est toujours pourvue d'un carneau d'allumage allant de

la périphérie au pieu central. Dans ce but, on place sur l'aire de la meule, avant l'érection de celle-ci, une pièce de bois (de 10 centimètres d'épaisseur) correspondant à la largeur et à la longueur du carneau d'allumage et lorsque la meule est érigée, on la retire.

On construit la cheminée des *meules norvégiennes* avec des crouètes (ce sont des planches minces de forme irrégulière, dont une seule face est plane, l'autre étant formée par le côté de l'écorce de l'arbre) et, afin de pouvoir allumer commodément la meule, on entasse dans la cheminée des corps facilement inflammables, comme des copeaux de bois ou du menu bois. Autour de ceux-ci, on met un amas conique de gros déchets de bois et on dispose ensuite les crouètes. Celles-ci sont placées autour du cône fermé par de gros déchets de bois, de façon que leur extrémité large et épaisse soit tournée par en bas et que leur surface plane regarde la cheminée. On n'a pas l'habitude d'établir un carneau d'allumage.

#### *Érection de la meule horizontale.*

Comme celle de la meule verticale, l'érection de la meule horizontale, commence par l'établissement de la cheminée ou l'implantation du pieu central. Autour de la cheminée ou du pieu, on dispose un noyau conique de bûches verticales et on place ensuite les bûches à carboniser les unes sur les autres en couches horizontales, en formant avec elles deux ou trois anneaux concentriques.

Par suite de cette disposition des bûches, les meules horizontales laissent à l'air trop d'accès. Les espaces creux dans la meule sont encore augmentés par suite de la diminution de longueur (10-12 p. 100) que les bûches éprouvent lors de la carbonisation. Dans les meules verticales, ces espaces se remplissent par la pression de la masse du bois, ce qui n'a pas lieu dans les meules horizontales. A cause de ces inconvénients, c'est à peine si ces dernières meules sont encore employées.

#### *Dimensions des meules.*

On donne aux meules une hauteur qui varie entre le tiers et la moitié de leur diamètre. Ce dernier s'élève en général à 7-10 mètres et ne va qu'exceptionnellement jusqu'à 16 mètres. La masse de bois contenue dans la meule s'élève ordinairement à 120-150 mètres cubes, elle va rarement à 200 mètres cubes.

#### *Revêtement de la meule.*

La meule étant dressée, on remplit avec des morceaux de bois mince les vides que l'on aperçoit à sa surface et on la couvre avec des branchages de bois résineux, ou des feuilles, de la mousse, du gazon, des roseaux, en mettant de ces matières une couche épaisse de 10-15 centimètres.

On laisse découvert le pied de la meule sur une hauteur de 18 à 30 centimètres, afin que les gaz formés après l'allumage et surtout la *vapeur d'eau* puissent se dégager aussi rapidement que possible. Afin d'empêcher le

glissement du revêtement, on le soutient au moyen d'une couronne de bois ou de branchages, reposant elle-même sur des piliers en bois ou en pierre, ou qui est supportée par des fourches en bois.

Sur ce revêtement, on applique finalement une couche, de 3 à 12 centimètres d'épaisseur, de sable, de terre, de poussière de charbon ou d'un mélange de ces corps. Le revêtement de la meule doit être plus épais au-dessus du dôme que dans les autres parties, parce que c'est là que la chaleur se fait sentir avec le plus d'intensité, et que par suite le feu le détruit avec le plus de facilité.

#### *Conduite de la carbonisation.*

La carbonisation n'est pas conduite de la même façon dans les différents pays et même dans les différentes contrées d'un même pays. C'est pour cela que, dans ce qui va suivre, nous ne donnerons sur ce point que des indications générales.

La mise en train de la meule commence par l'allumage, opération qui est ordinairement effectuée de grand matin. Dans le cas des meules sans carneau d'allumage, on fait tomber dans la cheminée des charbons incandescents, qui mettent en feu les corps facilement inflammables accumulés dans la cheminée et autour de celle-ci. S'il s'agit de meules avec carneau d'allumage, on introduit dans ce dernier, en le poussant jusqu'au pieu central, un petit fagot de copeaux de pin en combustion, fixé à une longue tige, et le bois mince qui se trouve autour du pieu est ainsi enflammé.

Afin d'éviter des pertes de charbon par combustion de carbone et gazéification de celui-ci par la vapeur d'eau et l'acide carbonique, il faut faire en sorte que la combustion marche lentement, que les produits de combustion et de décomposition gazeux ne se mettent pas en contact avec le charbon incandescent et que l'air soit autant que possible dirigé de la partie non brûlée de la meule vers la partie en combustion.

#### *Suée de la meule.*

Après l'allumage de la meule, commence la suée (*première période* de la carbonisation). Il se dégage du bois des vapeurs aqueuses, et par suite de la température encore basse de l'intérieur de la meule, ces vapeurs se condensent sur le revêtement de cette dernière. L'eau résultant de cette condensation pénètre dans le revêtement et fait qu'extérieurement il paraît humide ou qu'il sue. Pendant la suée, il se dégage aussi, outre la vapeur d'eau, des gaz de combustion du bois et des vapeurs provenant de la décomposition de la cellulose. Afin que le feu se propage rapidement et aussi pour empêcher la gazéification de carbone par la vapeur d'eau, on fait sortir les gaz et les vapeurs de la meule aussi rapidement que possible. Dans ce but, on laisse découvert le pied de celle-ci, de façon que les vapeurs puissent se dégager par cette partie de la meule et, dans le cas de la présence d'une cheminée, partiellement aussi par celle-ci. Comme de l'air atmosphérique pénètre par le pied de la meule et se mélange avec

de l'oxyde de carbone et des hydrocarbures gazeux, il se produit, si le mélange arrive au contact de charbons incandescents, des explosions qui font sauter le revêtement de la meule entièrement ou partiellement.

Ces explosions ne se produisent que dans les dix-huit à vingt-quatre heures après l'allumage de la meule. Il se forme alors dans celle-ci aussi bien par la combustion d'une partie du bois, que par la diminution de volume qu'éprouve le bois par la carbonisation, des espaces vides qui doivent être comblés rapidement et avec le plus grand soin. Dans ce but, après avoir enlevé le revêtement de la meule, on fait tomber du dôme de celle-ci, à l'aide d'un ringard, dans les vides formés, le bois ou le charbon qui se trouvent au-dessus, et les nouveaux vides ainsi produits sont remplis de bois fendu ; après quoi, on rétablit le revêtement. Ce travail est répété jusqu'à la fin de la suée. La suée de la meule est terminée, dès que les vapeurs sortant de son pied offrent la forte odeur caractéristique du produit volatil de la carbonisation. Le pied de la meule, resté ouvert jusqu'ici, est alors fermé avec du gazon, de la terre ou du poussier de charbon ; en outre, on raffermi le revêtement, en le battant dans toutes ses parties, on bouche toutes les ouvertures ou fentes qui peuvent s'y trouver et l'on abandonne la meule à elle-même pendant un certain temps.

#### *Période de carbonisation proprement dite.*

Pendant ce temps, a lieu la carbonisation sous l'influence de la chaleur qui règne à l'intérieur de la meule, parce que durant cette période, la *seconde période* ou *période de carbonisation proprement dite*, l'air ne peut pénétrer que par les pores de la sole et du revêtement.

Les gaz dégagés dans la meule s'échappent par les pores du revêtement. S'ils ne peuvent pas se dégager, on pratique des trous dans ce dernier. Lorsque cette période, qui dure de quatre à sept jours, suivant la grosseur de la meule, est écoulée, la partie formant le dôme, ainsi que celle qui avoisine l'axe de la meule sont carbonisées. Cette dernière partie a la forme d'un cône renversé.

#### *Période de grand feu et tirage du charbon.*

Il s'agit maintenant de produire la carbonisation de la portion de bois qui reste autour du noyau carbonisé. On nomme cette phase du travail *période de grand feu* (*troisième période* de la carbonisation).

On dirige le feu vers les parties non carbonisées de la meule, en pratiquant des trous d'aéragé de 2 centimètres de diamètre dans les points convenables du revêtement. Ces trous sont ordinairement établis en deux séries à des hauteurs différentes autour de la meule. Dans un grand nombre de localités, on pratique d'abord des trous d'aéragé dans la partie supérieure de la meule et ensuite dans la partie inférieure, de façon que le feu marche de haut en bas. Dans d'autres localités, on établit des trous d'abord dans la partie inférieure de la meule, puis dans sa partie moyenne et enfin dans sa partie supérieure.

La carbonisation est terminée lorsque le feu s'échappe des trous d'aéragé

inférieurs. Tous les trous sont alors bouchés et la meule est recouverte de terre humide, afin d'étouffer le feu. De la meule maintenant abandonnée au refroidissement, on extrait peu à peu le charbon, travail auquel on donne le nom de **tirage du charbon**. On commence ce travail du côté de la meule opposé au vent; dans ce but, on pratique au pied de celle-ci, à l'aide d'un crochet en fer, une ouverture, par laquelle on retire une certaine quantité de charbon et que l'on referme ensuite avec du sable ou du fraisil, afin d'empêcher le contact de l'air avec les charbons incandescents qui se trouvent encore dans la meule. On procède d'une façon analogue dans d'autres points de celle-ci et on en retire ainsi peu à peu le charbon. Le charbon qui se trouve dans la partie supérieure de la meule s'écroule au fur et à mesure qu'on enlève celui de la partie inférieure. Si les charbons tirés sont encore incandescents, on les éteint avec de l'eau.

La durée du grand feu et du tirage est de quatre à six jours.

Les charbons fournis par les meules sont de grosseurs différentes. Indépendamment des morceaux gros et moyens, on obtient des petits morceaux s'écrasant facilement, qui proviennent du voisinage de la cheminée; il y a en outre du charbon pulvérulent (fraisil, escarbilles), qui est employé pour la confection du revêtement et de l'aire des meules et enfin du bois non carbonisé (*fumerons*), qui lors de l'érection des meules est placé autour de la cheminée comme corps facilement inflammable.

La durée du travail des meules est, suivant le volume de celles-ci, de quinze à vingt jours.

Le *rendement en charbon* dépend de l'espèce et de l'âge du bois, ainsi que de la façon dont la carbonisation est conduite. Il est en général égal à 20-25 p. 100 du poids et 50-60 p. 100 du volume du bois.

De la teneur en carbone du bois, il se perd en moyenne 40 p. 100 par combustion et gazéification.

#### *Carbonisation en tas.*

La carbonisation du bois en tas n'est plus que rarement usitée et seulement dans les pays riches en bois (Russie et Suède). Elle est conduite comme la carbonisation en meules. Le bois est employé sous forme de troncs ou de branches fendus. Les tas ont une base oblongue et, comme les meules, ils sont entourés d'un revêtement, qui, dans les tas avec parois latérales verticales, est maintenu au moyen de planches. Suivant le mode de composition, on distingue les tas allemands, les tas suédois et les tas moraves-silésiens.

Les premiers sont formés de bois non fendu (rondins), les tas moraves-silésiens de bois fendu (bûches).

Le **tas allemand** est haut de 1 à 2 mètres, large de 2 à 5 mètres et long de 9 à 12 mètres. Les rondins sont placés parallèlement au petit côté du tas ou à son grand côté. Le revêtement est formé de branches et de brins de fagots, de feuilles ou de fraisil, et latéralement, il est maintenu au moyen de planches soutenues par des pieux. Sur le petit côté antérieur, on ménage un espace, dans lequel on accumule des matières facilement inflammables, à l'aide desquelles le tas est allumé. Sur le côté opposé,

on établit des dispositifs pour recueillir les produits volatils de la carbonisation.

Les figures 70 et 71 représentent, la première, un tas dans lequel le

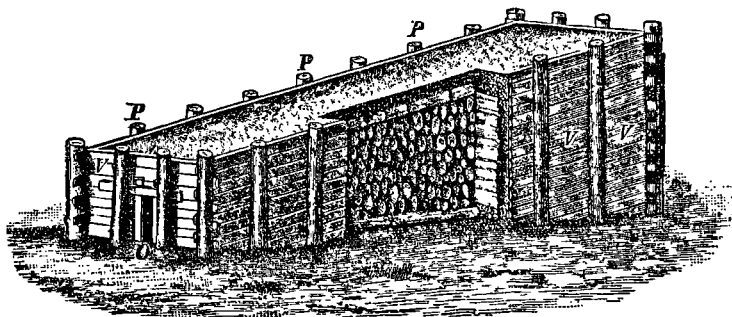


Fig. 70. — Tas allemand avec bois disposé transversalement.

bois est placé transversalement, la seconde un pareil tas avec bois disposé longitudinalement. Dans le tas représenté par la figure 70, V, V sont les

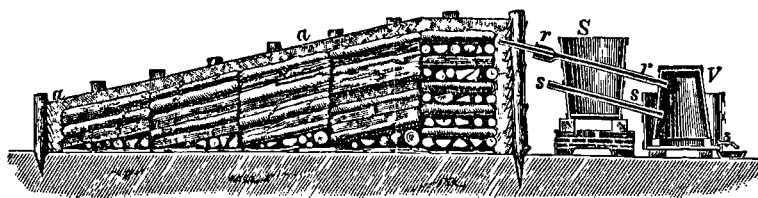


Fig. 71. — Tas allemand avec bois disposé longitudinalement et appareil pour recueillir le vinaigre de bois et le goudron.

planches maintenant le revêtement, P, P sont les pieux soutenant celui-ci et O est l'ouverture pour introduire dans le tas des matières facilement

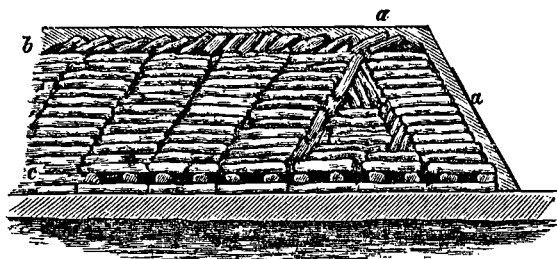


Fig. 72. — Tas morave-silésien ; coupe longitudinale.

inflammables. Dans le tas de la figure 71, le petit côté le plus haut (le fond) est soutenu par une pile de bois ; cette même figure montre le revêtement *a* et les dispositifs pour recueillir les produits liquides de la carbonisation (vinaigre de bois et goudron). Par les tubes *r* et *s*, qui sont refroidis

au moyen d'eau dans le vase S, les gaz se rendent dans le récipient V, dans lequel se rassemblent les parties condensées.

Le **tas suédois** est disposé comme le tas allemand. On le construit ordinairement avec des rondins de 6 mètres de long sur une grille de troncs placés en long et on lui donne 6 mètres de longueur, 6 mètres de largeur et une hauteur égale à celle des tas allemands.

Le **tas morave-silésien** est fait avec du bois fendu (bûches) ayant ordinairement 1 mètre de longueur. On lui donne en général 20 mètres de longueur, 6 mètres de largeur et 2 mètres de hauteur. Les bûches sont

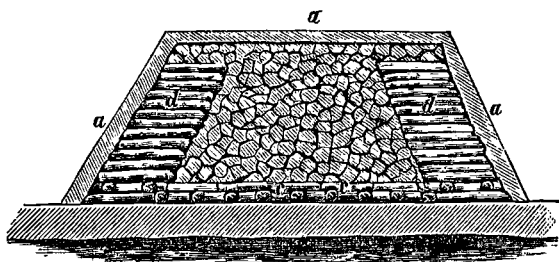


Fig. 73. — Tas morave-silésien; coupe transversale.

entassées sur une double grille, faite également avec des bûches parallèlement à la longueur du tas, de façon que les côtés de celui-ci offrent une inclinaison de 60 centimètres environ. Sur les deux côtés longs, le tas est maintenu par des bûches placées parallèlement à ses petits côtés. La face supérieure est couverte avec de petites bûches placées obliquement. Le revêtement proprement dit est fait avec du fraisil, du gazon ou de l'argile limoneuse. Dans les figures 72 et 73 :

- a* est le revêtement en fraisil ;
- b* la couverture de bûches placées obliquement ;
- c* la grille en bois ;
- d* les bûches de talutage du tas.

#### *Conduite de la carbonisation.*

Après l'allumage du tas, on dirige la carbonisation en pratiquant dans la couverture de ce dernier des trous d'aérage. Ces trous sont d'abord percés sur le petit côté où a lieu l'allumage, ensuite sur les deux côtés longs à différentes hauteurs et à des distances horizontales de 50 centimètres. La carbonisation est maintenant conduite à l'aide de ces trous d'aérage, de façon qu'elle progresse par jour en direction horizontale de un tiers de mètre, environ, en faisant en sorte que la partie inférieure du tas soit toujours en avance de plusieurs trous sur la partie inférieure. Dans ce mode de travail, la carbonisation est déjà terminée dans la partie antérieure du tas, lorsque la partie moyenne est encore dans la seconde période (voy. p. 188) et la partie postérieure dans la première. On peut donc pendant la carbonisation, avant que celle-ci soit achevée, commencer le tirage du charbon.

Le rendement en charbon des tas s'élève en volume à 60-70 p. 100.

*Carbonisation en fosses.*

La carbonisation du bois en fosses est encore pratiquée dans les pays incultes et dans les pays cultivés où les meules et les tas ne peuvent pas être érigés, à cause de la nature du sol, par exemple dans les hautes montagnes. Les frais de la carbonisation en fosses sont moins élevés que ceux de la carbonisation en meules, mais le charbon est de plus mauvaise qualité. Au Caucase, ce mode de carbonisation est employé concurremment avec la carbonisation en meules. Cette dernière est pratiquée sur les points où l'on peut faire aboutir des voies de communication, tandis que dans les autres points la carbonisation du bois est effectuée dans de petites excavations creusées dans la terre. Celles-ci sont remplies de bois et de déchets de bois et recouvertes avec des branchages ou de la terre. L'air n'a d'accès que par la partie supérieure.

En Chine, on emploie des fosses ouvertes dans les localités avec sols sablonneux et des chambres voûtées dans celles avec sol argileux. On a aussi muni les fosses d'un canal d'allumage descendant à l'intérieur de celles-ci et d'une cheminée de tirage.

*Carbonisation en fours.*

La carbonisation en fours, lorsque les produits de distillation ne doivent pas être en même temps recueillis, n'est plus maintenant pratiquée qu'exceptionnellement. Dans ce cas, la température nécessaire pour la carbonisation est produite soit par combustion d'une partie du bois à carboniser, soit par des foyers particuliers.

Les fours de la première espèce offrent ordinairement la forme de meules ou de tas, et reçoivent, parce que la carbonisation y a lieu comme dans les meules, le nom de *fours-meules*. On nomme *fours de carbonisation* les fours de la seconde espèce.

*Fours-meules.*

Dans les fours-meules, l'air pénètre soit par des ouvertures pratiquées dans leurs parois et que l'on peut fermer, soit par une grille formant le fond du four.

La figure 74 représente un four-meule de la première espèce. *h* et *i* sont les ouvertures pour l'introduction du bois et le tirage du charbon; pendant la carbonisation, elles sont bouchées au moyen d'une maçonnerie; *o, o* sont les ouvertures cylindriques que l'on peut fermer avec des tampons d'argile et qui remplacent les trous d'aérage des meules et des tas. Lorsqu'on charge le bois, on ménage un canal d'allumage débouchant en *z*; *g*, est un tuyau pour l'entraînement des produits gazeux de la carbonisation, qui peuvent être condensés dans des vases particuliers.

Un four-meule de la seconde espèce est représenté par la figure 75. Le bois, qui est chargé par les ouvertures *m* et *n*, repose sur la grille R, formée de briques placées de champ. Les produits volatils de la carbonisation s'échappent par le tuyau W. L'allumage du bois est produit par la



flamme de corps facilement inflammables accumulés au-dessous de la grille et que l'on allume en ouvrant la porte *z*. On laisse la première fumée s'échapper par l'ouverture de la voûte, ouverture qui est fermée

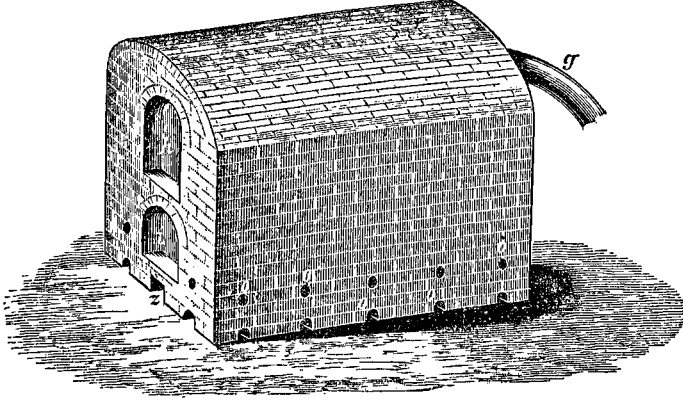


Fig. 74. — Four-meule avec trous d'aéragé.

par le couvercle *m*, dès que le bois est allumé. On règle le tirage à l'aide de la porte *z*.

Les fours de cette espèce présentent plusieurs inconvénients : les vides

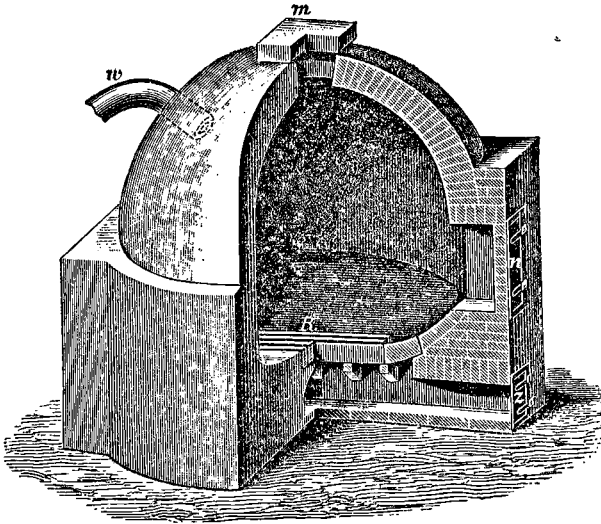


Fig. 75. — Four-meule avec grille.

qui se produisent pendant la carbonisation ne peuvent pas être comblés ils exigent un long temps pour leur refroidissement et ils fournissent de plus mauvais charbon que les meules et les tas.

*Fours de carbonisation.*

Dans ces fours, le chauffage et la carbonisation du bois ont lieu au moyen de gaz chauds introduits de l'extérieur dans le four. Ces gaz sont amenés au moyen de tubes en fer établis dans le four, de façon que le bois soit chauffé indirectement, ou bien ils sont introduits directement dans le bois, dans lequel cas ils doivent être autant que possible exempts d'oxygène. En général, ces fours sont reliés à des dispositifs de condensation pour les produits volatils de la carbonisation.

Ces fours offrent l'avantage de permettre de carboniser même les déchets de bois, mais ils offrent aussi des inconvénients : lorsqu'on se sert de tubes de fer pour le chauffage, la zone de carbonisation est limitée, tandis que lorsqu'on introduit directement dans la masse de bois les gaz de chauffage, l'oxygène, la vapeur d'eau et l'acide carbonique qu'ils renferment gazéifient une grande partie du carbone. Ils ne sont que peu employés.

2. — Carbonisation dans laquelle la fabrication du charbon de bois et l'extraction des produits de la distillation forment l'objet principal.

Ce mode de carbonisation est pratiqué exclusivement dans des cornues. En Amérique, on se sert aussi dans ce but de fours-meules.

*Carbonisation dans des cornues.*

Elle consiste à carboniser le bois dans des vases clos chauffés extérieurement et desquels les produits volatils de la décomposition sont conduits, au moyen de tubes abducteurs, dans des dispositifs particuliers de

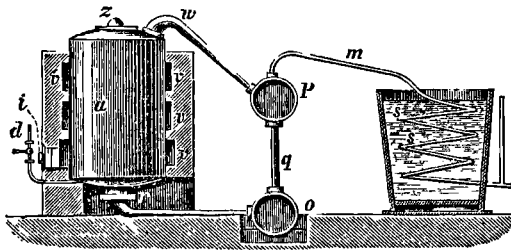


Fig. 76. — Cornue verticale pour la carbonisation du bois.

condensation. Le charbon ainsi obtenu est plus mauvais que le charbon des meules.

Le rendement en charbon s'élève à 25-27 p. 100 du poids du bois, et à 60-65 p. 100 du volume de celui-ci ; il est par conséquent plus grand que le rendement de la carbonisation en meules. La main-d'œuvre est moins élevée qu'avec les meules ; une grande dépense de combustible est au contraire nécessaire, mais elle est en partie compensée par la combustion des gaz non condensés de la carbonisation. Les cornues sont verticales ou inclinées.

La figure 76 représente un dispositif de carbonisation avec cornue ou chaudière verticale.

*a* est la chaudière en tôle pouvant contenir environ 8 mètres cubes de bois. Le bois *y* est introduit par l'ouverture *z*; le charbon en est extrait par l'ouverture ménagée à sa partie inférieure, vis-à-vis de *i*, par où pénètrent les gaz du foyer, pour contourner la chaudière en circulant dans les canaux *v, v*. Au moyen du tube *d*, on introduit dans la chaudière un courant de vapeur d'eau, afin de réchauffer le bois aussi rapidement que possible.

Les corps condensés dans la chaudière elle-même (goudron) coulent, par le tuyau *r* adapté au fond de celle-ci, dans le vase *o*. Les produits gazeux de la carbonisation passent par le tuyau *w* dans le vase P, duquel le liquide qui s'y est condensé coule par le tube *q* dans le vase *o*. Les gaz non condensés en P se rendent par le tube *m* dans le serpentín refroidi *s*, où sont liquéfiées les vapeurs condensables.

Les gaz non condensés en *s* sont ramenés dans le foyer de la chaudière.

Les cornues en fer inclinées ont la forme de chaudières cylindriques. Leur diamètre est égal à 1 mètre, leur longueur à 5-7 mètres. Un certain nombre de ces chaudières, formant une série, sont établies les unes à côté des autres dans une maçonnerie. Elles sont chargées par en haut et vidées par en bas. Le foyer se trouve à la partie inférieure de la cornue. Comme combustible, on emploie surtout le gaz non condensé de la carbonisation, ainsi que des résidus impurs de goudron et de brai. Les gaz et les vapeurs passant à la distillation sont condensés dans des récipients. Ceux-ci sont en communication avec des vases collecteurs, dans lesquels se déposent le goudron et l'eau goudronneuse.

Les gaz non condensés sont conduits au moyen d'exhausteurs dans les foyers servant au chauffage des cornues et y sont brûlés.

Des ateliers pour ce mode de carbonisation ont été établis par exemple, à Rübeland, dans le Harz, et à Trzyniec, près Teschen.

#### *Carbonisation dans les fours-meules.*

Ce mode de carbonisation est en usage dans l'Amérique du Nord. Les fours ont la forme d'une meule et sont construits en briques. Ils sont pourvus d'une porte de chargement, qui est murée avant la mise en train.

Les gaz se dégagent par un tuyau adapté à la partie supérieure du four et au moyen duquel ils sont conduits à des appareils de condensation. Le four est chauffé au moyen de gaz non condensés, qui y sont amenés par un canal central. Dans la voûte du four se trouve un regard, qui, pendant la carbonisation, est fermé avec une plaque de fer.

Ce mode de carbonisation est connu en Amérique sous le nom de procédé de PIERCE.

Le bois fournit comme rendement en poids, en les différents produits :

Charbon. . . . .	25,30 p. 100
Alcool méthylique . . . . .	0,75 —
Acide acétique. . . . .	1,00 —

Goudron . . . . .	4,00	p. 100.
Eau . . . . .	43,93	—
Gaz . . . . .	24,00	—

### 3. — Carbonisation dans laquelle le but principal est l'obtention de produits de distillation.

Dans ce mode de carbonisation, on obtient le charbon, non pas en morceaux, mais sous la forme d'une poudre, qui ne peut pas servir aux usages métallurgiques (cette poudre peut, au moyen d'une matière agglutinante, être agglomérée et employée comme combustible sous forme de briquettes; mais, ainsi transformée, elle n'a pas cependant trouvé emploi dans la métallurgie). Les matières soumises à la carbonisation sont des déchets de bois, surtout des sciures de bois. Comme appareils, on se sert exclusivement de cornues. La carbonisation est ordinairement précédée d'une dessiccation des sciures de bois humides dans des cornues. On emploie aussi bien des cornues fixes que des cornues rotatives horizontales. Afin d'éviter la formation de croûtes ou autres dépôts sur les parois des cornues, la masse doit être soumise, dans les appareils fixes, à un mouvement continu au moyen d'agitateurs. Les cornues rotatives sont, dans ce but, munies intérieurement de nervures longitudinales qui mélangent la matière à carboniser ou bien elles renferment un arbre hélicoïdal, qui tourne en sens contraire du mouvement de la cornue et racle continuellement la matière qui s'est déposée sur les parois de l'appareil.

Dans les cornues fixes, la matière est également poussée en avant et retirée par l'appareil agitateur. On établit ordinairement les unes au-dessus des autres un certain nombre de cornues horizontales, en les faisant communiquer entre elles, de façon que la matière à carboniser les traverse de haut en bas. La dessiccation préliminaire a lieu dans les cornues supérieures, la carbonisation dans les inférieures.

Dans les cornues rotatives, le mélange et la circulation à l'intérieur de l'appareil de la matière à carboniser sont produits, comme on l'a déjà dit, par des nervures longitudinales, reposant sur la paroi interne des cornues. Celles-ci doivent, dans ce cas, avoir une forme conique. L'introduction de la matière ligneuse a lieu à leur extrémité la plus élevée. Dans les cornues cylindriques, les nervures doivent avoir la forme d'une hélice, pour qu'elles puissent pousser en avant la matière à carboniser.

Les cornues rotatives ont sur les cornues fixes l'avantage de permettre un chauffage uniforme, mais l'abduction des produits de la distillation est moins simple qu'avec les cornues fixes. Dans ce but, LARSEN établit sur la périphérie des cornues une série de soupapes, qui sont en communication avec un tuyau abducteur et sont fermées par la pression d'un ressort. Ces soupapes sont mues automatiquement, de façon que toujours l'une d'elles au moins soit ouverte et laisse dégager les produits de la distillation. Dans ce but, une pièce courbe adaptée au-dessus de la cornue refoule, par en bas, les soupapes au fur et à mesure de leur passage et donne ainsi issue au gaz. Lorsque, par suite de la rotation des cornues, la pièce courbe cesse d'agir, les soupapes se ferment automatiquement.

Dans la cornue rotative de SCHNEIDER, il y a un arbre hélicoïdal qui

tourne en sens contraire au mouvement de la cornue et qui, non seulement racle les matières déposées sur les parois de celles-ci, mais encore les pousse en avant.

**Charbon de tourbe.**

Ce charbon est préparé par carbonisation de la tourbe. Chauffée à l'abri de l'air entre 200 et 360°, la tourbe se décompose : l'oxygène, l'hydrogène, l'azote et une partie du carbone sont volatilés et il se forme des combinaisons analogues aux corps volatils qui se produisent dans la carbonisation du bois, mais la majeure partie du carbone, avec les éléments de la cendre et une petite quantité des autres éléments de la tourbe forment un résidu, qui constitue le *charbon de tourbe*. La tourbe pressée mécaniquement, aussi pauvre en cendre que possible, est la matière la plus convenable pour la préparation de ce charbon. Comme la totalité de la teneur en cendre de la tourbe reste dans le charbon, disséminée dans une petite quantité de combustible, le charbon préparé avec des tourbes riches en cendre n'aurait qu'un faible rendement calorifique.

Le charbon de tourbe offre encore ordinairement la structure de la tourbe avec laquelle il a été préparé. Il contient :

Carbone . . . . .	60-86 p. 100
Hydrogène . . . . .	2,2-4,4 —
Oxygène . . . . .	6-17 —
Eau hygroskopique . . . . .	10-15 —

La teneur en cendre s'élève en moyenne à 10-20 p. 100, mais elle peut aller jusqu'à 50 p. 100, tandis qu'elle descend rarement au-dessous de 4-5 p. 100.

La chaleur de combustion est égale en moyenne à 6300 Cal., la température de combustion à 2050-2400°. Le poids de 1 mètre cube de charbon de tourbe pauvre en cendre s'élève à 230-250 kilogrammes, et celui du même volume de charbon de tourbe riche en cendre à 300-350 kilogrammes.

Le charbon de tourbe est en petits morceaux ; il est friable et se laisse écraser facilement ; sa teneur en cendre est souvent très élevée. C'est pour cela qu'il n'est que rarement employé comme combustible en métallurgie. On s'en sert pour le chauffage des chaudières à vapeur ou autres.

**PRÉPARATION DU CHARBON DE TOURBE**

Comme le charbon de bois, le charbon de tourbe est préparé en meules, en tas, en fours ou en cornues.

*Carbonisation en meules et en tas.*

Dans la **carbonisation en meules** et dans la **carbonisation en tas**, la tourbe est employée sous forme de briquettes. Pendant la carbonisation, la tourbe se rétracte beaucoup plus irrégulièrement que le bois. La car-

bonisation en meules et la carbonisation en tas doivent par conséquent être surveillées avec le plus grand soin. Le rendement en charbon s'élève à 30 p. 100 du poids et à 60 p. 100 du volume de la tourbe.

#### *Carbonisation en fours.*

Dans la **carbonisation en fours**, la température nécessaire est produite soit par combustion d'une partie de la tourbe à carboniser, soit par combustion de gaz introduits dans les fours (gaz de gazogènes), soit au moyen de vapeur d'eau surchauffée également introduite dans les fours.

Les fours sont en maçonnerie ou en fonte et ils affectent ordinairement la forme de chambres ou de cylindres verticaux, plus rarement de chambres horizontales. On a aussi employé pour la carbonisation de la tourbe des fours annulaires d'HOFFMANN.

Pour éviter autant que possible les inconvénients du retrait irrégulier des morceaux de tourbe, on fait marcher la carbonisation, dans les fours verticaux, de haut en bas et au-dessous de la colonne de tourbe on aspire les gaz au moyen d'un exhausteur, comme cela a lieu, par exemple, dans les fours de WAGENMANN, de SCHENK, de HALL et BAINBRIDGE.

Dans le four de WAGENMANN, qui est mis en feu par l'allumage de la tourbe à son extrémité supérieure, la masse de tourbe repose sur une grille établie à l'extrémité inférieure du four.

Pour le chauffage du four de SCHENK, on emploie du gaz de gazogènes, qui y est introduit par un tuyau adapté à l'extrémité supérieure et y est brûlé au moyen d'air injecté.

Le four de HALL et BAINBRIDGE n'est pas, comme les deux précédents, en maçonnerie, mais en fonte, et il travaille comme le four de SCHENK avec du gaz de gazogènes. Plusieurs cylindres en fonte sont ordinairement groupés autour d'un tube, duquel des gaz de gazogènes mélangés d'air sont introduits dans la partie supérieure des cylindres. Les gaz de la combustion sont aspirés avec les produits volatils de la combinaison par des ouvertures latérales, ménagées dans la partie inférieure des cylindres.

Aux fours horizontaux appartient le four de BARFF et THURSFIELD. C'est une chambre longue, basse, dans laquelle sont poussés des wagons chargés de la tourbe à carboniser. La tourbe est chauffée au moyen de vapeur d'eau surchauffée. Dans ce four, la carbonisation ne serait pas complète.

Le rendement du four en charbon s'élève à 45 p. 100 du poids et jusqu'à 76 p. 100 du volume de la tourbe.

#### *Carbonisation en cornues.*

On combine ordinairement la carbonisation de la tourbe en cornues avec l'extraction de goudron, d'acide acétique et d'ammoniaque; celle-ci prend naissance par suite de la présence d'azote dans la tourbe.

A cause de la grande dépense de combustible qu'exige la distillation, dépense qui s'élève à 30 p. 100 du poids de la houille à carboniser et aussi du rendement relativement faible des produits de distillation obtenus, la carbonisation en cornues n'est que rarement employée.

Les cornues, qui sont disposées horizontalement ou verticalement, sont en fer ou en terre réfractaire. Elles sont entourées par les gaz du foyer ou ces derniers sont introduits dans les cornues dans des tubes en fer.

Le rendement en charbon s'élèverait à, au moins, 40 p. 100 du poids de la tourbe.

#### Coke de lignite.

Les essais de carbonisation des lignites n'ont donné jusqu'ici que des résultats défavorables, car on n'a obtenu que du coke pulvérulent ou des morceaux de charbon remplis de fissures, qui au bout de quelque temps tombaient en poussière, de sorte que ces produits ne pouvaient pas être employés comme combustibles. Les tentatives que l'on a faites, pour obtenir un coke convenable en mélangeant des corps agglutinants avec des lignites, n'ont pas donné de bons résultats. WEEBEN<sup>1</sup> a proposé de priver les lignites de leur gaz et de carboniser le résidu obtenu après l'avoir mélangé avec de la houille; mais ce procédé n'a jamais été appliqué. En outre, on a essayé de débarrasser les lignites de leur gaz en procédant avec précaution et d'employer le charbon ainsi produit, à la place du charbon de bois, dans les hauts fourneaux; mais ces essais n'ont pas été de longue durée, bien qu'ils aient démontré la possibilité *technique* du remplacement *partiel* du charbon de bois par le lignite privé de gaz.

Dans la distillation sèche de certains lignites, en vue de l'obtention de goudron pour la préparation de matières éclairantes, on obtient une espèce de coke menu (désigné en Allemagne sous le nom de *Grude*), qui est employé pour les usages domestiques et pour la production de gaz de gazogène.

De ces lignites on retire :

Coke menu ( <i>Grude</i> ) . . . . .	40-50 p. 100
Eau . . . . .	10-20 —
Goudron . . . . .	14-35 —
Gaz . . . . .	15-25 —

#### Coke de houille ou coke proprement dit.

Le coke proprement dit, est le produit de la carbonisation de la houille.

Lorsqu'on chauffe la houille à l'abri du contact de l'air, afin de la carboniser, il se dégage d'abord l'eau qu'elle renferme. La portion d'eau qui se dégage au-dessous du rouge passe indécomposée, tandis qu'au rouge elle agit sur le charbon et forme avec ce dernier, en même temps que de l'hydrogène devient libre, de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique. L'air contenu dans la houille et dans l'appareil où a lieu la carbonisation brûle également une partie du carbone, qu'il transforme aussi en oxyde de carbone et acide carbonique. La décomposition de la substance de la houille commence dès la température de 100° et augmente avec la température, jusqu'à ce qu'elle ait atteint, à 1 200°, son point culminant.

Il se dégage alors du méthane, des hydrocarbures lourds, de l'hydro-

<sup>1</sup> Brevet allemand, n° 63 763.

gène, de l'oxyde de carbone, de l'acide carbonique, de l'hydrogène sulfuré et de l'azote, tandis qu'il reste du coke comme résidu.

La quantité du coke obtenu dépend, comme nous l'avons vu, de l'espèce de la houille, en outre de la teneur de celle-ci en eau hygroskopique, de son état d'aggrégation et de la disposition des appareils de carbonisation. Le rendement réel en coke reste 5-18 p. 100 au-dessous du rendement théorique indiqué précédemment (voy. p. 168).

Le coke se présente sous la forme de morceaux poreux de couleur gris noir ou blanc d'argent. Les parois des pores de certaines espèces de cokes (cokes de gaz) sont minces et très fragiles, de sorte que le coke est friable et se laisse écraser facilement; dans d'autres espèces, les parois des pores sont dures et résistantes, et alors le coke offre lui-même une assez grande dureté. L'espace occupé par les pores oscille entre 15 et 50 volumes p. 100.

Dans quelques espèces de cokes, les pores eux-mêmes sont grands, ce qui donne au coke un aspect spongieux, tandis que dans d'autres espèces ils sont petits et le coke paraît alors compact. Le métallurgiste exige un coke compact et dur, le seul qu'il puisse employer, parce qu'il a à supporter dans les fours le poids des corps métallifères, des additions et des fondants. Plus est grande la charge à supporter, c'est-à-dire plus les fours sont hauts, plus le coke doit être compact et résistant.

Le bon coke préparé à haute température doit offrir un brillant métallique et donner un son clair lorsqu'on le frappe, tandis que le coke produit à basse température avec une houille peu collante est dépourvu d'éclat et de sonorité.

Les masses de coke possèdent une structure bacillaire ou prismatique, qui a pris naissance pendant leur refroidissement et on observe fréquemment à leur surface des saillies mamelonnées et des excroissances filiformes. Ces productions se distinguent du coke véritable, en ce qu'elles ne contiennent pas de cendres, parce qu'elles sont formées de carbone séparé des hydrocarbures.

Ces derniers, jusqu'au degré de carburation du méthane ( $\text{CII}^4$ ) sont décomposables à haute température avec séparation de carbone, par exemple :  $\text{C}^2\text{H}^2 = \text{C} + \text{CII}^2$ . La couleur noir mat du coke de gaz provient aussi du carbone ainsi séparé.

#### *Composition.*

Le coke se compose des éléments suivants :

Carbone;  
Eau hygroskopique;  
Éléments minéraux (cendre);  
Hydrogène et oxygène.

Comme nous l'avons vu, le carbone provient, pour une faible portion, des hydrocarbures volatils qui se sont formés pendant la carbonisation. La teneur en carbone oscille, en grande moyenne, entre 83 et 93 p. 100.

La teneur du coke en eau hygroskopique dépasse rarement 5-6 p. 100. Elle augmente avec la grandeur des pores. Le coke est beaucoup moins



hygroscopique que le charbon de bois, de sorte que quelques unités p. 100 d'eau suffisent pour le rendre humide au toucher. A l'état sec, il ne peut pas absorber à l'air plus de 2 p. 100 d'eau.

L'eau, qui lors de l'extinction du coke incandescent, pénètre dans les pores de ce dernier s'évapore très rapidement, jusqu'à quelques fractions d'unité p. 100, lorsqu'on casse le coke en petits morceaux.

La cendre du coke offre une composition analogue à celle de la cendre de la houille. Elle contient surtout de l'acide silicique, de l'alumine, du sesquioxyde de fer, de la chaux et du soufre.

La teneur en soufre du coke est généralement plus faible que celle de la houille en cet élément, parce que la carbonisation en élimine une partie, mais, en moyenne, elle s'élève toujours encore à 0,8-2,5 p. 100. Ce soufre provient partie de pyrite et de sulfate de fer, partie de combinaisons organiques du soufre avec le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, qui se trouvaient dans la substance de la houille. Pendant la carbonisation, une partie du soufre est chassée de la pyrite, tandis qu'il reste du sulfure de fer ( $Fe^I S^8$ ). Le peroxyde de fer contenu dans les éléments de la cendre est réduit en fer, qui est également transformé en sulfure de fer par le soufre et le sulfure de carbone. La chaux incandescente des éléments de la cendre est convertie en sulfure de calcium par le sulfure de carbone, qui est formé aux dépens des combinaisons organiques sulfurées. Une grande quantité du soufre organique reste dans le coke. Après la carbonisation, une très petite quantité de soufre est éliminée sous forme d'hydrogène sulfuré, lors de l'extinction du coke avec de l'eau.

La teneur en cendre du coke est, on le comprend, plus grande que celle de la houille. Elle s'élève à 5-20 p. 100. Pour le coke destiné aux usages métallurgiques, elle ne doit pas dépasser 12 p. 100. Les meilleurs coques contiennent moins de 10 p. 100 de cendre. Les grandes usines du Bas-Rhin, qui préparent leur coke elles-mêmes, admettent que le coke préparé avec des houilles criblées contient 10 p. 100 de cendre, 0,5 p. 100 de soufre et 0,15 p. 100 de phosphore, et que celui qui résulte de la carbonisation de houilles lavées renferme 7 p. 100 de cendre, 0,3 p. 100 de soufre et 0,01 p. 100 de phosphore.

L'oxygène et l'hydrogène se trouveraient à l'état gazeux dans les pores du coke ou bien ils seraient unis à du carbone à l'état de combinaisons fixes (Muck). La teneur en hydrogène de la substance du coke exempte de cendre s'élève à 0,27-2,2 p. 100, celle en oxygène à 1,7-6,1 p. 100. L'oxygène libre est nuisible, parce que dans les opérations de réduction il donne lieu à une combustion inutile de coke.

La composition de différentes sortes de coques, l'eau hygroscopique non comprise, est mise en évidence par les analyses suivantes :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Cendre.
I.	93,040	0,260	1,610	5,090
II.	86,460	1,980	3,020	8,540
III.	83,487	0,737	5,467	10,309

*Si l'on ne tient pas compte de la teneur en cendre, ces coques sont composés comme il suit :*

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.
I.	98,029	0,274	1,697
II.	94,533	2,164	3,303
III.	93,083	0,821	6,096

Le poids spécifique du coke varie suivant la teneur en cendre. Pour la poudre de coke (par conséquent non compris les pores), il oscille, d'après Muck, entre :

1,2 et 1,9.

Le poids de 1 mètre cube de coke s'élève, suivant la grandeur des pores, à 350-450 kilogrammes. La résistance à la pression oscille entre 44 et 92 kilogrammes par centimètre carré.

En Angleterre, on exige d'un bon coke que sa teneur en cendre ne dépasse pas 8 p. 100, et que celles en eau et en soufre ne soient pas supérieures la première à 4 p. 100, la seconde à 0,5 p. 100. Le poids de 1 centimètre cube de coke doit s'élever à 800-900 milligrammes. Le coke doit pouvoir supporter sans se briser une pression de 80-90 kilogrammes par centimètre carré.

Le coke brûle *sans flamme* ; il exige pour son allumage une chaleur rouge intense et, pour que sa combustion continue, un tirage vif est nécessaire.

On admet que la chaleur de combustion du coke est égale à 8 000 Cal.

On emploie le coke comme combustible dans toutes les opérations qui exigent un contact direct du combustible avec le corps à chauffer ; on s'en sert aussi comme agent de réduction.

#### *Caractères des houilles à coke.*

Le métallurgiste exige du coke qu'il soit en morceaux, qu'il soit résistant et dur et qu'il offre une faible teneur en cendre et en soufre.

Pour obtenir du coke en morceaux, avec des houilles qui s'agglutinent mal et doivent être carbonisées seules, on n'emploie ces dernières que sous forme de morceaux, tandis que les houilles collantes peuvent être carbonisées à l'état de menu.

Pour donner un coke résistant et dur, les houilles ne doivent pas être très riches en hydrogène, parce que les charbons riches en cet élément fournissent un coke dont les parois des pores sont peu solides, tendres et qui, par suite, se laisse écraser facilement.

Les *houilles grasses pauvres en hydrogène*, c'est-à-dire les *houilles grasses à flamme moyenne et courte* sont celles qui sont les plus convenables pour la fabrication d'un coke résistant et dur. (Charbons à coke, houilles collantes pauvres en gaz.)

Le maître de forges exige un coke résistant avec larges pores, qui dans le haut fourneau, à cause de sa grande surface, brûle surtout en se transformant en oxyde de carbone.

Pour obtenir un coke aussi pauvre que possible en cendre et en soufre, on soumet les houilles avant la carbonisation à une préparation préli-

minaire (lavage), au moyen de laquelle est éliminée une partie de la pyrite et des éléments des cendres.

C'est pour cela qu'en général, les houilles collantes ne sont pas carbonisées à l'état de morceaux, mais après avoir été broyées.

Toutefois, il n'en est pas ainsi pour les houilles de Connelsville, près Pittsburg (Amérique du Nord), qui à cause de leur pureté et de leur mollesse sont carbonisées telles qu'elles sortent de la mine, sans traitement préalable; de même, nombre de houilles à coke belges ne sont pas lavées, malgré leur teneur élevée en cendre, mais simplement criblées. Ce qui de ces houilles passe à travers le crible est carbonisé tandis que les morceaux sont vendus comme combustibles. Lorsque la teneur en cendre est trop élevée, ce qui passe à travers le crible est soumis à la carbonisation avec de la houille lavée. On nomme *coke lavé* le coke qui a été fabriqué avec de la houille lavée, et *coke non lavé* celui qui a été obtenu avec de la houille non lavée.

En Westphalie, la teneur en cendre de la houille à coke est réduite par lavage à 4-5 p. 100 en moyenne (ce qui correspond à une teneur en cendre du coke de 8-10 p. 100). Dans ce pays, on lave le menu de houille de 3 à 10 millimètres de grosseur de grain et on ajoute le menu de houille à coke de plus faible grosseur de grain non lavé au charbon lavé. On obtient ainsi une matière ayant en moyenne 4 millimètres de grosseur de grain, avec 6 p. 100 de cendre et 7 p. 100 d'eau, qui, dans le four, à cause de sa teneur en eau, se tasse fortement et ne renferme que peu d'air, de sorte que pendant la carbonisation il ne peut brûler que peu de houille.

Le charbon à coke de Westphalie offre la composition suivante :

Carbone . . . . .	79,755 p. 100
Hydrogène . . . . .	4,734 —
Oxygène et azote . . . . .	10,457 —
Cendre . . . . .	5,034 —
Soufre . . . . .	1,146 —
Phosphore . . . . .	0,007 —

Il renferme au moment de son extraction 1-3,5 p. 100 d'humidité et il offre un poids spécifique de 1,46. Le rendement qu'il donne en coke s'élève à 77,32 p. 100.

Les houilles pauvres en gaz exigent pour leur carbonisation une haute température, celles qui sont riches en gaz une basse température.

Les houilles non collantes ne peuvent pas être carbonisées seules, mais doivent être mélangées dans certaines proportions avec des houilles collantes.

Mais, avec ces mélanges, on ne peut produire un coke compact que si les charbons sont mêlés très intimement ensemble.

Pour obtenir un pareil mélange, les quantités de charbon correspondant aux proportions voulues sont mesurées à l'aide de trémies sur des tables qui tournent au-dessous de celles-ci et ensuite mêlées dans des moulins centrifuges. Les charbons maigres ont été introduits dans le mélange jusque dans la proportion de 25 p. 100; avec l'anhracite du Piesberg, près Osnabrück, on est allé jusqu'à 15 p. 100.

Avec des mélanges de houilles qui pendant la carbonisation se boursoufflent fortement (et donnent à cause de cela du coke tendre) et de charbons maigres ou d'anhracite, on peut obtenir des cokes compacts, si on les comprime à l'état demi-fondu. Mais la mise en pratique de ce procédé a présenté de si grandes difficultés qu'il a été abandonné.

On a essayé de comprimer les houilles avant leur introduction dans le four et on a obtenu de bons cokes en carbonisant les charbons comprimés.

En Belgique, la compression des charbons est effectuée dans des presses à briquettes. Les masses ainsi obtenues sont chargées dans les fours à coke.

On désigne sous le nom de *quaglio* un bloc de houille qui à lui seul remplit le four et y est poussé à l'aide d'une presse à coke (défourneuse). Dans ce but, un wagon de la longueur du four à coke est disposé devant le massif du four du côté où se trouve la presse à coke. La plate-forme du wagon se trouve à la hauteur du four ; elle est pourvue de deux parois longitudinales qui peuvent être rabattues. Dans l'espace entre ces parois, la houille est pilonnée par des ouvriers, de façon à ce qu'elle forme un bloc assez compact.

Lorsque le bloc est achevé, on rabat les parois longitudinales de la plate-forme et on pousse la masse dans le four au moyen de la presse à coke. A l'aide de ce procédé, on obtient de très bon coke avec des mélanges de charbons gras de Westphalie et d'anhracite (du Piesberg, près Osnabrück).

#### FABRICATION DU COKE

Comme la carbonisation du bois, celle de la houille peut être effectuée avec accès de l'air ou à l'abri du contact de ce dernier. Dans le premier cas, la température nécessaire pour la carbonisation est produite par combustion d'une partie de la houille à carboniser. Dans la carbonisation à l'abri de l'air, les gaz combustibles qui sont expulsés de la houille pendant la carbonisation (hydrocarbures, hydrogène et oxyde de carbone) forment le combustible le plus important pour maintenir la température nécessaire.

La carbonisation à l'abri de l'air donne, on le comprend, un rendement en coke plus élevé que celle qui est effectuée avec accès de l'air, et c'est pour cela qu'actuellement elle est presque exclusivement employée.

La carbonisation avec accès de l'air est pratiquée en meules, en tas, en stalles et en fours, et celle dans laquelle l'air est exclu a lieu dans des fours fermés. Fréquemment aussi, dans le travail avec ces derniers fours, on recueille les éléments utilisables, le goudron, le benzène et l'ammoniaque, que renferment les gaz de la carbonisation.

#### Carbonisation avec accès de l'air.

La carbonisation en meules, en tas et en stalles est presque partout remplacée par la carbonisation en fours clos. Elle n'est actuellement pratiquée que dans un petit nombre de localités.

*Carbonisation en meules et en tas.*

La *carbonisation en meules* est la plus ancienne méthode de préparation du coke. Elle exige des houilles en morceaux, pauvres en cendre et convient surtout pour les houilles demi grasses, riches en gaz. Le menu étoufferait le feu de la meule et c'est pour cela qu'il ne peut être employé que pour la couverture. Comme dans les meules la pression fait défaut, les houilles collantes ne donnent que des cokes tendres.

Elle est en usage dans la Haute-Silésie, où l'on carbonise des houilles demi grasses (à longue flamme), riches en gaz.

La meule est érigée autour d'une cheminée construite en maçonnerie ou avec des morceaux de houille. Cette cheminée est d'abord mise en communication sur la sole de la meule avec la périphérie de celle-ci, au moyen de carneaux faits avec des briques ou avec des morceaux de houille. On dispose la houille autour de la cheminée, en entassant les plus gros morceaux contre celle-ci, et plaçant ensuite les menus fragments autour de ces derniers, en les choisissant de façon que leur grosseur aille en diminuant vers la périphérie. La couverture de la meule est faite avec du menu de houille ou du poussier de coke. Le diamètre de la meule varie de 4 à 7 mètres, sa hauteur oscille entre 2,5 et 5 mètres.

L'allumage a lieu ordinairement par la cheminée, parfois aussi par la périphérie ou en même temps intérieurement et extérieurement. La propagation uniforme du feu dans la meule peut, comme dans les meules à charbon de bois, être obtenue au moyen de trous d'aéragé pratiqués dans la couverture.

Les gaz se dégageant de la meule brûlent avec une flamme fuligineuse jaune rougeâtre, qui disparaît lorsque la carbonisation est achevée. On bouche alors tous les trous d'aéragé, on couvre la cheminée, on donne plus d'épaisseur à la couverture si c'est nécessaire et on laisse refroidir la meule pendant trois ou quatre jours, après quoi on procède au tirage du coke et l'on éteint avec de l'eau les morceaux encore incandescents.

La carbonisation dure de deux à dix jours, suivant la grosseur de la meule, et il faut pour le refroidissement de celle-ci trois à quatre jours.

Dans la Haute-Silésie (Königshütte), le rendement en coke de meule s'élevait à environ 63-64 p. 100 du poids de la houille.

La *carbonisation en tas* exige les mêmes houilles que la carbonisation en meules et elle se passe comme celle-ci. Elle est en usage dans la Haute-Silésie.

On donne aux tas 25-100 mètres de longueur, 2-4 mètres de largeur au pied et une hauteur de 1-2 mètres, et aux parois une inclinaison de 45°. Comme les meules, on les munit sur la sole de carneaux communiquant avec des cheminées. Ces dernières sont établies dans le milieu du tas à des distances de 2-2,5 mètres. L'allumage a lieu par les cheminées. Le travail est conduit comme celui des meules.

*Carbonisation en stalles.*

On peut employer pour la carbonisation en stalles aussi bien les houilles qui conviennent pour la carbonisation en meules et en tas que le

*menu des houilles collantes.* Les stalles ont sur les meules et les tas l'avantage de mieux retenir la chaleur ; en outre, elles permettent de mieux régler le tirage et d'employer pour la carbonisation des menus de houilles collantes, mais comme les meules et les tas, elles ont l'inconvénient de donner un faible rendement (60-65 p. 100) et de produire un coke non homogène. C'est pour cela qu'elles ne sont employées qu'*exceptionnellement* (Obernkirchen).

Les stalles ou fours de Schaumbourg sont des espèces de fours oblongs, partiellement limités par une maçonnerie et ouverts supérieurement et sur les deux côtés étroits ou seulement sur l'un d'eux. Elles sont pourvues, pour régler le tirage, de carneaux horizontaux et verticaux.

Leur disposition est représentée par la figure 77. R, R sont les deux murs longitudinaux. On leur donne 10-30 mètres de longueur et

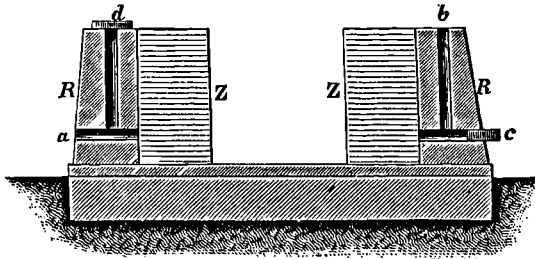


Fig. 77. — Stalle pour la carbonisation de la houille; coupe transversale.

1-2,3 mètres de hauteur, et on les établit de façon qu'il y ait entre eux intérieurement une distance de 2,5-4,4 mètres. Z, Z sont des parties des courtes parois, qui laissent entre elles un espace suffisant pour charger et vider la stalle. *a* et *c* sont des carneaux horizontaux distants l'un de l'autre de 0,5 à 0,6 m. et qui communiquent avec les carneaux verticaux *b* ou *d*. Ils ont chacun une section intérieure de 16 centimètres carrés et ils peuvent être fermés au moyen de briques.

Pour charger le four, on commence par le remplir de menu jusqu'au niveau des carneaux horizontaux ; on ajoute la houille en morceaux, en entassant ceux-ci de façon que leur grosseur aille en diminuant de bas en haut, et finalement on recouvre le tout d'une couche de menu humide, d'escarbilles ou d'argile.

L'allumage a lieu sur les deux côtés longs par les carneaux horizontaux *a* et *c*. Pour que le feu puisse se propager d'un long côté à l'autre, on ferme les carneaux verticaux de l'un des côtés et les carneaux horizontaux de l'autre. Au bout de quelque temps, on ferme les carneaux restés ouverts et on ouvre ceux qui étaient fermés. On change de cette façon de temps en temps la direction du tirage.

La carbonisation est terminée, lorsque les flammes fuligineuses s'échappant des carneaux verticaux disparaissent ou lorsqu'elles prennent une couleur bleue ou blanche. On bouche alors tous les carneaux, on laisse refroidir la masse pendant deux jours et au bout de ce temps on procède au tirage du coke. La durée de la carbonisation dans des stalles de moyenne grandeur est de six à huit jours.

*Carbonisation en fours.*

Les fours dans lesquels de l'air est introduit pendant la carbonisation sont appelés *fours à boulanger* ou à cause de leur forme *fours-ruches* ou simplement *ruches*.

Ce sont des enceintes fermées, circulaires ou quadrangulaires et recouvertes par une voûte. La température nécessaire pour la carbonisation y est produite par la combustion des gaz qui sont dégagés de la houille à carboniser par la chaleur des parois du four, ainsi que par la combustion d'une partie de la houille et du coke lui-même. Le charbon est chargé par une ouverture ménagée dans le milieu de la voûte. L'air nécessaire pour la combustion est introduit par des ouvertures ménagées dans les portes de déchargement. Les gaz provenant de la carbonisation s'échappent par une autre ouverture traversant la voûte. Le tirage du coke a lieu, après son extinction avec de l'eau dans le four, par les portes mentionnées plus haut.

Pour mettre un four en activité, on en porte d'abord les parois au rouge au moyen d'un feu de houille. On le remplit ensuite de la houille à carboniser et on ferme les portes. La houille est décomposée par la chaleur du four. L'air introduit pour la combustion des gaz dégagés brûle aussi une partie de la houille et du coke. Lorsque la carbonisation est terminée (au bout de quarante-huit à soixante-douze heures), on ouvre les portes et l'on arrose le coke avec de l'eau, après quoi on le retire du four au moyen de crochets. Le four est ensuite chargé à nouveau. Sa chaleur suffit pour décomposer la nouvelle charge et enflammer les gaz qui se dégagent de celle-ci. On laisse dégager les gaz dans l'air ou bien on utilise leur chaleur de différentes façons. La charge d'un four s'élève à 3,8 tonnes environ ; la durée de sa carbonisation est de quarante-huit à soixante-douze heures.

Le rendement en coke est peu élevé. Il est égal à 58-65 p. 100 pour des houilles avec 80 p. 100 de résidu solide.

Afin d'éviter le refroidissement intense qu'éprouvent les fours-ruches par leur fond, STRACHAN<sup>1</sup> les dispose de façon que les gaz sortant du four puissent être dirigés sous la sole et chauffent celle-ci. Dans ces fours, les parois sont aussi chauffées par les mêmes gaz. Un autre four, dans lequel la sole et les parois sont chauffées, a été indiqué par J. BERRES et J. REITER<sup>2</sup>.

Afin de permettre de vider plus rapidement le four, ADAMS<sup>3</sup> l'a muni d'un fond mobile.

Les fours-ruches ont l'inconvénient de ne donner qu'un faible rendement en coke ; en outre, s'ils ne possèdent pas de dispositif pour le chauffage du four, la couche inférieure de la charge se carbonise incomplètement et forme des *pieds noirs*. Ils ne conviennent que pour les houilles bien colantes.

<sup>1</sup> *Glückauf* 1894, p. 499.

<sup>2</sup> Brevet allemand, n° 55064.

<sup>3</sup> FISCHER, *Jahresbericht der chem. Technologie*, 1891, p. 10.

Dans la plupart des localités, ils ont été remplacés par des fours à coke fermés avec chauffage extérieur. Ils sont encore en usage en Angleterre et en Amérique. En Allemagne, dans la Westphalie, il n'existe qu'un petit nombre de ces fours.

Comme dans les fours-ruches la carbonisation marche lentement, on obtient un coke poreux, facile à allumer, qui trouve un emploi avantageux dans un grand nombre de cas (chauffage de fours à creusets).

Pour recueillir le goudron, le benzène et l'ammoniaque des gaz résultant de la carbonisation, les fours-ruches ont été munis par Otto et par la SOCIÉTÉ HIBERNIA ET SHAMROCK de régénérateurs, pour le chauffage de l'air de combustion destiné à la combustion des gaz froids revenant des appareils de condensation.

#### Carbonisation à l'abri du contact de l'air.

La carbonisation de la houille à l'abri du contact de l'air est effectuée dans des fours clos, qui sont chauffés de l'extérieur. Les gaz expulsés de la houille pendant la carbonisation forment le combustible, et dans ce but, ils sont dirigés dans des canaux entourant les fours et sont brûlés au moyen d'air amené au contact des gaz. (Il n'est produit qu'une très faible quantité de la chaleur [par la combustion de la houille dans l'enceinte où a lieu la carbonisation de celle-ci.]

La chaleur dégagée par cette combustion suffit pour carboniser complètement la houille. Lorsqu'on a affaire à de la houille riche en gaz, les gaz brûlés peuvent encore être employés pour le chauffage d'autres dispositifs.

Afin de pouvoir utiliser autant que possible pour la carbonisation la combustion des gaz en question, on donne aux fours, en comparaison de leur capacité, une surface aussi grande que possible en les construisant en forme de longues chambres horizontales ou de chambres prismatiques très hautes et verticales. Par la même raison, on construit leurs parois aussi minces que possible.

Pour la carbonisation de houilles pauvres en gaz, qui, comme on l'a déjà dit, exigent une haute température, les chambres doivent être plus étroites et leurs parois plus minces que pour la carbonisation des houilles riches en gaz.

Afin que la chaleur soit convenablement et systématiquement utilisée et aussi pour diminuer les frais d'établissement, on réunit un grand nombre de fours en un seul, qu'on appelle une batterie. Depuis quelque temps, dans un grand nombre de localités, on dispose les fours à coke fermés, de façon qu'on puisse extraire des gaz de la carbonisation, avant leur combustion, le goudron, le benzène et l'ammoniaque qu'ils renferment (fours de distillation).

Le rendement en coke des fours fermés varie suivant la composition des houilles employées et suivant que l'on recueille ou non les produits secondaires contenus dans les gaz de la carbonisation (goudron, benzène, ammoniaque).

Le rendement est d'autant plus grand que les houilles sont plus pau-



vres en gaz. Dans les fours avec dispositif pour recueillir les produits secondaires, le rendement est de 5-6 p. 100 plus élevé que dans ceux dans lesquels ce dispositif fait défaut. Dans les premiers, il y a toujours un léger excès de pression, de sorte que l'air ne pénètre pas dans le four. Dans les fours non aménagés pour recueillir les produits secondaires, la pression est un peu au-dessous de la pression extérieure, de sorte que l'air pénètre dans le four par les fentes de la maçonnerie et par les portes et y brûle une petite portion de la charge.

La marche de la carbonisation dans ces sortes de fours est telle que la houille qui se trouve contre les parois chaudes du four est d'abord carbonisée et qu'il se forme pour ainsi dire une croûte autour de la masse de houille, de laquelle la carbonisation se propage peu à peu vers le milieu du four. L'eau renfermée dans la houille se dégage indécomposée de la périphérie de la masse. De l'intérieur de celle-ci elle ne peut se dégager, à cause de la mauvaise conductibilité calorifique de la houille, que lorsque la couche périphérique se trouve déjà en incandescence. En traversant cette couche, la vapeur d'eau se décompose et gazéifie une partie de la houille, en formant de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique.

Les gaz de carbonisation commencent à se dégager de la houille dès la température de 100° et le dégagement atteint son maximum à 1200°. On reconnaît que la carbonisation est terminée, lorsqu'on n'aperçoit plus de flammes à l'intérieur du four.

On distingue les fours à **travail intermittent** et les fours à **travail continu**.

Dans les fours à **travail intermittent**, on charge une certaine quantité de houille, on la carbonise et on l'extrait tout entière du four, après quoi on en introduit une nouvelle quantité, que l'on carbonise, et ainsi de suite.

Les fours à **travail continu** demeurent toujours pleins, une partie seulement de la charge en étant retirée et en même temps remplacée par une quantité correspondante de houille.

Tandis que les fours à coke à travail intermittent comprennent toute une série de dispositifs différents, on ne connaît qu'une seule espèce de fours à travail continu, dont toutefois l'usage ne s'est pas répandu.

#### FOURS A TRAVAIL INTERMITTENT

On distingue ces fours en fours à **grand axe vertical** et fours à **grand axe horizontal**.

Les **fours à grand axe vertical** ou **fours verticaux** sont fermés à leur extrémité supérieure au moyen de couvercles et à leur extrémité inférieure au moyen de registres ou de portes. Les parois latérales sont chauffées par la chaleur résultant de la combustion des gaz de la carbonisation. Le chargement de la houille se fait par l'extrémité supérieure et l'extraction du coke par l'extrémité inférieure.

Les **fours avec grand axe horizontal** ou **fours horizontaux** sont fermés aux deux extrémités par des portes en fer. Les gaz de chauffage chauffent les longues parois latérales et la sole, souvent aussi une partie de la voûte du

four. La houille est chargée par des ouvertures munies de portes ménagées dans la voûte des fours, tandis que le coke, après ouverture des portes des extrémités est refoulé par l'une de ces dernières à l'aide de dispositifs mécaniques.

Les fours à grand axe vertical sont beaucoup plus rarement employés que les fours à grand axe horizontal.

#### Fours verticaux.

Le plus connu de ces fours est le four APPOLT.

Ce four se compose d'un certain nombre de cuves verticales (12-18), qui sont entourées d'un massif commun en maçonnerie. Ces cuves sont ordinairement établies en deux séries l'une à côté de l'autre.

Les cuves ont 5 mètres de hauteur. La section intérieure s'élève à l'extrémité supérieure à  $1\,100 \times 330$  millimètres, à l'extrémité inférieure à  $1\,240 \times 470$  millimètres. Chacune d'elles forme un four particulier. Chaque

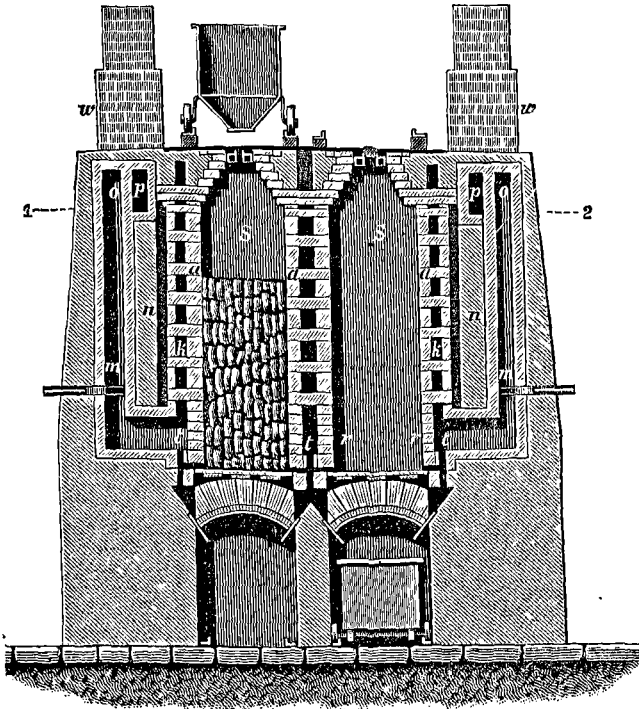


Fig. 78. — Four Appolt; coupe verticale.

four est muni supérieurement d'une ouverture, que l'on peut fermer à l'aide d'un couvercle et qui sert pour le chargement de la houille à carboniser. La sole de la cuve, sur laquelle repose la colonne de houille, est formée par une porte mobile sur des charnières. Lorsqu'on ouvre cette porte, à l'aide

d'une clef ou autrement, le contenu du four tombe dans un wagonnet placé au-dessous de ce dernier. Afin de faciliter le défournement, les parois divergent de haut en bas, comme l'indiquent les mesures données plus

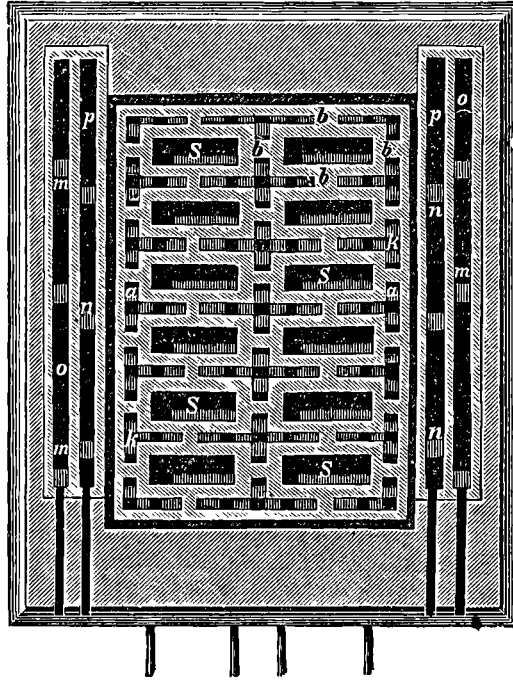


Fig. 79. — Four Appolt ; plan.

haut. Le coke est éteint dans le wagonnet ou sur un emplacement particulier.

Les longues parois latérales de la cuve reposent sur des supports en fer encastrés dans la maçonnerie du massif et sont en outre soutenues par des arceaux en maçonnerie. C'est au-dessous de ces arceaux que se trouvent les wagonnets destinés à recevoir le coke.

Chaque four est entouré dans toute sa hauteur de canaux, qui reçoivent les gaz dégagés pendant la carbonisation et l'air nécessaire pour leur combustion.

Les gaz de la carbonisation pénètrent dans ces canaux par des ouvertures en forme de fontes ménagées dans les parties supérieure et inférieure des parois latérales des fours. L'air nécessaire pour leur combustion est amené aux canaux, partie par en bas, partie par le côté, au moyen d'ouvertures ménagées dans le massif.

Les différents fours, qui sont séparés l'un de l'autre par les canaux dont il vient d'être question, sont reliés entre eux et avec le massif qui les entoure au moyen de fortes briques.

Les gaz brûlés sont, autant que possible, évacués par en bas ; là, ils passent dans des conduits qui les dirigent dans la cheminée.

Dans ces derniers temps, on a établi entre les cuves des languettes en maçonnerie et ainsi imposé une voie déterminée aux gaz de la carbonisation et en même temps amoindri la détérioration des parois.

La disposition de l'ancien four APPOLT est mise en évidence par les figures 78 et 79. *S, S'* sont les différentes cuves, *b, b* sont les briques de liaison, *k, k* les canaux dans lesquels les gaz sont brûlés, *a, a* les parois des cuves, *r, r* les ouvertures de sortie des gaz de la carbonisation. *d, d* les canaux adducteurs de l'air, et *m* et *n* les canaux pour l'abduction des gaz brûlés dans les canaux *o* ou *p* ; *w w* sont les cheminées, dans lesquelles les gaz brûlés sont conduits par les canaux *o* et *p*. Au-dessus de chaque série de fours, est établie une voie ferrée, permettant d'amener dans des wagonnets les charges nécessaires pour les différents fours.

Pour mettre un four en activité, on chauffe les différentes cuves jusqu'à ce que leurs parois soient devenues rouges et ensuite on les remplit avec la houille à carboniser, qui est aussitôt chauffée à la température de décomposition par les parois rouges du four. Afin de protéger la porte de défournement contre la chalcure, on déverse par-dessus avant de charger la houille, environ 2 hectolitres de fraisil. Maintenant, si tous les fours se trouvaient en même temps dans la même phase de carbonisation, le dégagement des gaz de la houille allant en diminuant, il se produirait un refroidissement des parois du four, de sorte que celles-ci après le défournement ne seraient plus suffisantes pour décomposer la houille fraîchement chargée. C'est pour cela qu'on dirige le travail de façon qu'il y ait toujours un four récemment chargé entre deux fours dans lesquels le dégagement gazeux est arrivé à son plus haut degré d'intensité, dans lequel cas il est chauffé par les gaz de ces fours. Les irrégularités du dégagement gazeux et sur tout celles de l'afflux de l'air de combustion résultant des variations de la tension des gaz ne sont pas aussi sensibles dans les fours APPOLT que dans les fours horizontaux, parce que dans les premiers un nombre relativement grand de cuves déversent leurs gaz dans des canaux communs.

Dans un four contenant jusqu'à 1 400 kilogrammes de houille, la carbonisation dure vingt-quatre heures. On vide alors le four, en ouvrant la porte de défournement et, après avoir nettoyé, la cuve on introduit une nouvelle charge. La coke est, comme on l'a dit, éteint avec de l'eau.

Le four a été aussi disposé pour recueillir le goudron et l'ammoniaque.

Le rendement en coke est le même que dans les fours horizontaux.

Le four APPOLT, par suite de sa très grande surface de chauffe, par rapport à sa capacité (6,37 mètres carrés de surface de chauffe par mètre cube de capacité), permet une carbonisation rapide à haute température et, à cause de la forte pression à laquelle la houille est soumise dans le four, pression résultant de la grande hauteur de la colonne de houille, il donne des cokes compacts. C'est pour cela qu'il convient surtout pour la carbonisation des houilles collant mal, comme il s'en rencontre en Belgique. Mais ses frais d'établissement sont très élevés et, lorsqu'il est nécessaire de réparer même une seule cuve, on est forcé d'arrêter le travail de tout le four. C'est à cause de cela que le four APPOLT, malgré ses avantages et

malgré les perfectionnements dont il a été l'objet dans ces derniers temps, ne s'est pas très répandu.

Parmi ces fours perfectionnés, nous mentionnerons le four de PALM<sup>1</sup>, le four de M. KLEIST<sup>2</sup>, le four des LOTHRINGER EISENWERKE<sup>3</sup>, le four de J. COLLIN<sup>4</sup>, enfin les fours de BAUER et GÖDECKE<sup>5</sup>, de BAUER<sup>6</sup> et de BAUER et RIEDERER<sup>7</sup>.

#### Fours horizontaux.

De tous les fours à coke, les fours horizontaux sont les plus répandus. Ils exigent pour leur établissement un plus grand emplacement que les fours verticaux, mais leur construction et leur entretien sont moins coûteux. Pour que leur service soit commode et leur chauffage uniforme, on ne leur donne pas une longueur supérieure à 10 mètres (entre 6 et 10 mètres) ; leur largeur varie de 0,5 à 1 mètre et leur hauteur de 1 à 2 mètres.

Pour les houilles s'agglutinant mal, lesquelles exigent pour leur carbonisation un chauffage rapide et une haute température, il faut des fours plus étroits que pour les houilles riches en gaz, qui doivent être carbonisées lentement et à basse température. Afin d'avoir une grande surface de chauffe, on emploie exclusivement des fours étroits et lorsqu'on a des houilles riches en gaz, on prépare une matière convenable pour la carbonisation, en mélangeant des houilles riches et des houilles pauvres en gaz.

Les côtés courts des fours sont munis de portes, que l'on ouvre au moment de l'extraction du coke, tandis que les côtés longs et la sole, souvent aussi une partie de la voûte, sont entourés de carnaux, dans lesquels a lieu la combustion des gaz dégagés pendant la carbonisation, au moyen d'air venant du dehors. Les gaz de la carbonisation passent des fours, par des ouvertures ménagées à cet effet, dans la moitié supérieure de leurs longs côtés, dans les carnaux de combustion, ce qui a lieu soit sur un seul des longs côtés, soit sur les deux. Le nombre de ces ouvertures oscille entre 2 et 30. L'air de combustion pour les gaz pénètre ordinairement, après s'être réchauffé dans la maçonnerie des fours, dans les carnaux de combustion ou carnaux de chauffage par la voûte, par la sole et aussi par les parois latérales des fours.

Afin de maintenir les parois du four au même degré de température, il doit toujours se trouver un four fraîchement chargé entre deux fours, dans lesquels le dégagement du gaz est arrivé à son maximum d'intensité. Ce four est alors chauffé par les parois des deux autres tant qu'il absorbe de la chaleur. (Les fours SEMET-SOLVAY, qui travaillent indépendamment les uns des autres, font exception.)

Comme le dégagement gazeux n'offre pas la même intensité dans les

<sup>1</sup> Brevet allemand, n° 10934.

Brevets allemands, n° 56488 et 56489.

<sup>3</sup> Brevet allemand, n° 32341.

<sup>4</sup> Brevet allemand, n° 36318.

<sup>5</sup> Brevet allemand, n° 7825.

<sup>6</sup> Brevet allemand, n° 28530.

<sup>7</sup> Brevet allemand, n° 50331.

différentes périodes de la carbonisation, il faut régler en conséquence l'afflux de l'air destiné à brûler les gaz.

Les gaz de la carbonisation sont amenés au-dessus de la sole sur les longs côtés des fours soit par des carneaux verticaux, soit par des carneaux horizontaux. Les carneaux verticaux constituent la voie la plus directe vers les carneaux de la sole et ils sont formés par des languettes verticales en maçonnerie, établies entre deux fours contigus. Comme ces languettes augmentent la stabilité des fours, les parois de ces derniers peuvent être construites plus minces que dans les fours avec carneaux horizontaux, dans lesquels le plus souvent il n'y a qu'une seule languette horizontale en maçonnerie. Avec les fours à carneaux verticaux, on peut par suite chauffer convenablement la sole, et à cet avantage s'ajoute encore celui de la pénétration parfaite de la chaleur dans l'intérieur du four.

Dans les fours avec carneaux à gaz horizontaux, les gaz sont dirigés en avant et en arrière parallèlement aux longs côtés, avant leur pénétration sous la sole. Dans le long trajet qu'ils sont ainsi forcés de faire, la chaleur est mieux utilisée que dans les fours à carneaux verticaux, mais les gaz arrivent si refroidis sous la sole que celle-ci ne peut plus être chauffée aussi fortement que les parois latérales. C'est à cause de cet inconvénient que les fours à carneaux horizontaux sont plus rarement employés que ceux à carneaux verticaux.

Le chargement de la houille dans les fours horizontaux a lieu par des ouvertures munies de fermetures, ménagées dans la voûte. Sur celle-ci sont ordinairement établies des voies ferrées, sur lesquelles roulent des wagonnets pyramidaux, dont le contenu est vidé dans le four.

L'extraction du coke des fours a lieu par refoulement de ce dernier à l'aide d'appareils désignés sous le nom de presses à coke ou *défourneuses*. Ce sont ordinairement des locomobiles avec chaudières tubulaires verticales ou horizontales, de petites machines jumelles à marche rapide et de roues transmettant le mouvement à la roue qui sert à actionner une crémaillère munie à son extrémité d'un piston ou bouclier. La figure 80 montre la disposition d'un appareil de ce genre. Les deux portes *a, a*, qui ferment le four à ses deux extrémités, ayant été ouvertes, un bouclier *c*, ayant la forme de la section transversale du four et fixé à la crémaillère *b*, est introduit dans l'une des ouvertures *a* et poussé peu à peu en avant, de façon à refouler par l'ouverture opposée la masse de coke contenue dans le four. Le coke ainsi défourné est cassé en fragments et éteint avec de l'eau, afin de l'empêcher de brûler, opération dans laquelle, ainsi qu'on l'a déjà dit, une partie du soufre renfermé dans le coke est volatilisé sous forme d'hydrogène sulfuré.

Le mouvement de la crémaillère et par suite du bouclier est produit par une machine à vapeur (M), qui peut être amenée devant chaque four dont le coke doit être extrait.

Après le défournement, le four est aussitôt rechargé comme on l'a dit plus haut.

Afin de faciliter le défournement et le rendre plus rapide, on fait aller en divergeant les longues parois des fours du côté de la sortie du coke (côté du coke). L'augmentation de largeur du four ainsi produite s'élève à 60-100 millimètres. Il est préférable de disposer les deux portes du four

de façon que, lorsqu'on veut les ouvrir, on puisse les remonter à l'aide de treuils, parce que des portes suspendues sur des gonds sont facilement courbées par les variations de température.

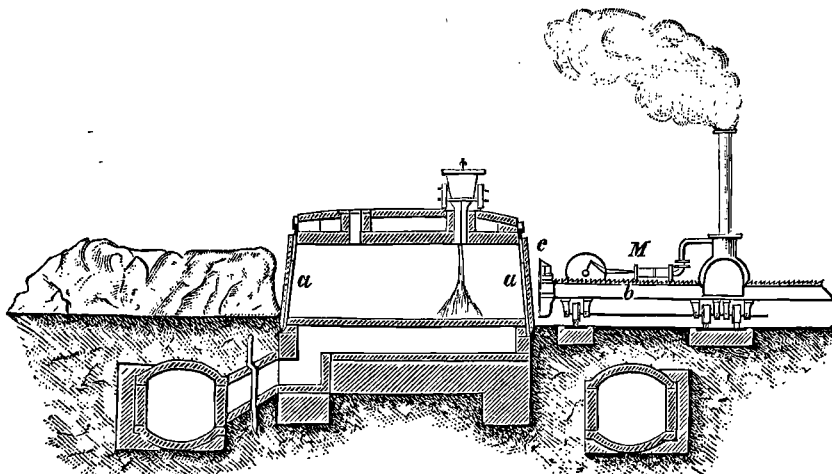


Fig. 80. — Four à coke horizontal avec défourneuse.

La durée de la carbonisation est en raison directe de la section du four. Elle est de dix-huit à vingt heures dans les fours COPPÉE avec 0,5 mètre carré de section et de trente-six heures dans les mêmes fours avec une section de 0,96 mètre carré.

**Fours avec carnaux verticaux.**

Les plus importants des fours de cette espèce sont ceux de FRANÇOIS-REXROTH, de COPPÉE, d'HOFFMANN-OTTO et d'OTTO.

*Four de François-Rexroth.*

Dans le four de FRANÇOIS-REXROTH (fig. 81 et 82), les gaz sortent par 14 ouvertures *o, o* ménagées dans la moitié supérieure de l'un des longs côtés et se rendent au-dessous de la sole par autant de carnaux verticaux parallèles *p, p*. Le carneau de la sole est partagé suivant sa longueur en deux moitiés par une languette en maçonnerie. Les gaz traversent d'abord une moitié du carneau et ensuite l'autre, puis se rendent par la galerie *k*

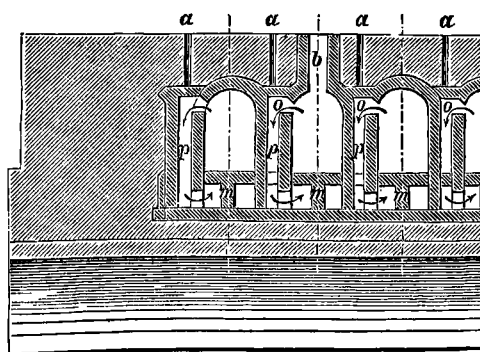


Fig. 81. — Four à coke de François-Rexroth; coupe transversale.

dans la cheminée. La direction du courant gazeux est indiquée par des flèches. L'air de combustion arrive d'en haut, par les conduits *a, a*, dans les carneaux *p, p*, et par les côtés dans le carneau de la sole. La houille est chargée dans le four par les ouvertures *b, b*.

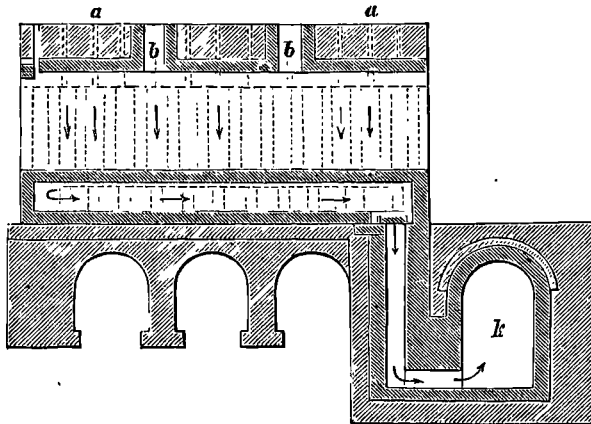


Fig. 82. — Four à coke de François-Rexroth; coupe longitudinale.

La largeur du four s'élève pour les houilles pauvres en gaz à 60 centimètres, pour les houilles riches à 90 centimètres. La hauteur est égale à 1,425 m. La carbonisation dure de vingt-quatre à quarante-huit heures. On réunit en une batterie de 18 à 24 fours.

#### *Four de Coppée.*

Dans le four de COPPÉE, le plus répandu de tous les fours à coke, les gaz de deux fours contigus se réunissent dans le carneau de la sole de l'un des fours ; après l'avoir traversé, ils se rendent dans le carneau de la sole d'un autre four, chauffent celui-ci et, par une galerie commune à tous les fours d'une batterie, ils passent dans la cheminée. Par ce mode de réunion des gaz de deux fours chargés alternativement, l'influence nuisible du dégagement irrégulier des gaz des différents fours est considérablement amoindrie.

L'air de combustion est introduit par la voûte des fours au moyen de conduits verticaux dans un carneau horizontal s'étendant au-dessus des carneaux verticaux et duquel, après s'être réchauffé, il pénètre dans ces derniers par des ouvertures convenablement disposées ; ou bien on le fait entrer par l'avant du four dans de petits carneaux horizontaux se trouvant au-dessus de ce dernier et ensuite dans les canaux par des conduits verticaux. On fait ensuite entrer l'air dans les canaux de la sole par les extrémités antérieures de ces derniers. Afin de protéger ces carneaux, il y a au-dessous d'eux des conduits à travers lesquels on fait passer de l'air froid.

La disposition d'un four de COPPÉE est représentée par la figure 83. *g, g*



sont les ouvertures pour le chargement de la houille; *a, a* sont les orifices par lesquels les gaz passent dans les carneaux verticaux *b, b*. Le four *O* est chauffé par les gaz sortant sur son côté gauche et sur le côté de gauche du four contigu *O'*. Sa sole est chauffée par les gaz de *O'* ou du four qui se trouve à droite de *O'* (non visible dans la figure).

Les gaz de ces deux fours se réunissent dans le carneau *c* de la sole du

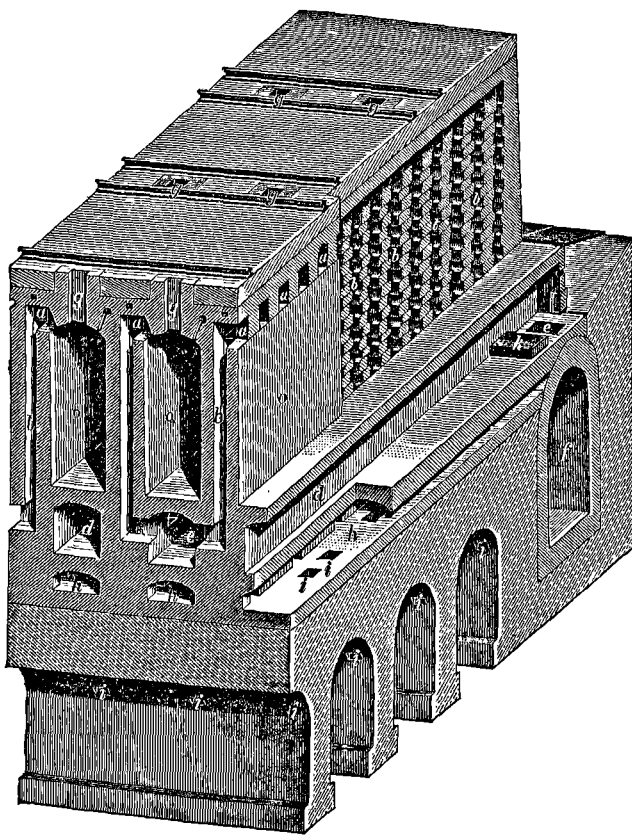


Fig. 83. — Four à coke de Coppée.

four *O'*, le traversent, puis à son extrémité passent dans le carneau *d* de la sole du four *O* et arrivés à son extrémité, ils pénètrent dans la galerie *f* conduisant à la cheminée, après avoir traversé le carneau *e*, qui dans le dessin n'est visible que pour le four placé à droite de *O'*. De même, le carneau de la sole du four qui se trouve à droite du four *O'* est chauffé par les gaz qui sortent du carneau de la sole du four placé à droite de ce dernier four.

*h, h* sont les conduits refroidisseurs des carneaux des soles, auxquels est amené, par les fentes dont ils sont munis, de l'air frais venant des canaux *i, i*. Cet air, arrivé à l'extrémité des conduits, passe

dans la galerie communiquant avec la cheminée. Une partie de l'air nécessaire pour la combustion des gaz arrive par de petits conduits horizontaux ménagés dans la voûte des fours et par les branches partant de ceux-ci; une autre partie arrive par des ouvertures qui se trouvent à l'extrémité antérieure des carnaux des soles.

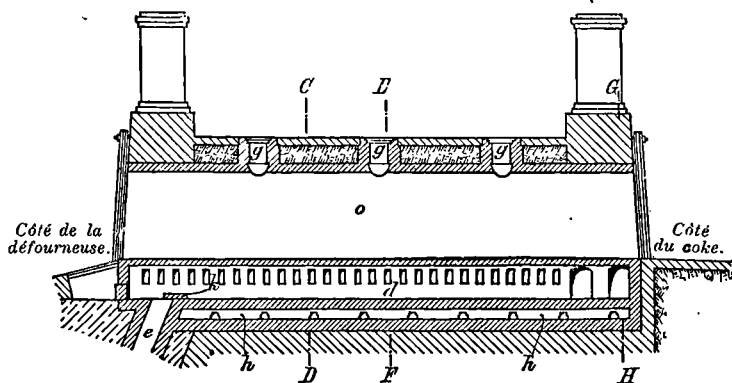


Fig. 84. — Four Coppée-Otto; coupe longitudinale.

C. OTTO ET C<sup>ie</sup>, de Dahlhausen sur la Rhur, ont perfectionné les fours de COPPÉE en modifiant le mode d'introduction de l'air, ainsi que le réglage de sa quantité pour les différents fours, et apportant des améliorations

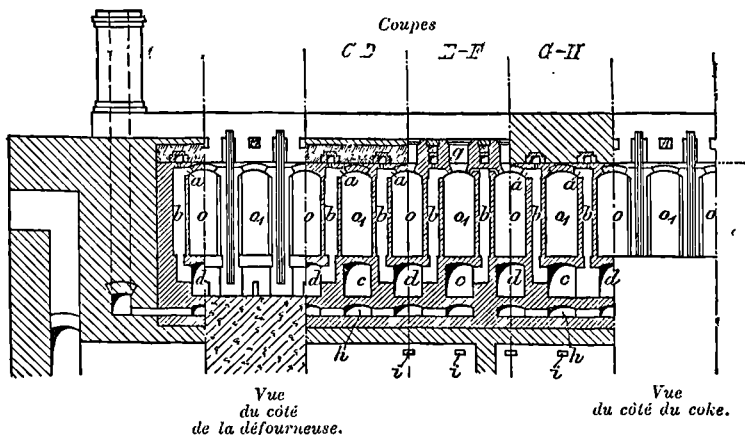


Fig. 85. — Four Coppée-Otto; coupes transversales.

sur plusieurs autres points. Le four de COPPÉE-OTTO est représenté par les figures 84 et 85. Les lettres inscrites sur celle-ci désignent les mêmes objets que celles de la figure 83.

La moitié des gaz d'un four est dirigée sous sa sole, l'autre moitié sous la sole du four contigu. L'air nécessaire pour la combustion des gaz est amené directement dans les carnaux latéraux par un conduit établi au-

dessus de la maçonnerie proprement dite (et qui a intérieurement 16 centimètres de côté). Ce conduit communique avec l'air extérieur au moyen de deux ou trois canaux ménagés dans la maçonnerie de la voûte. La quantité de l'air nécessaire pour la combustion peut être réglée au moyen de registres, adaptés à l'orifice extérieur de ces canaux. Les parois des carneaux où a lieu la combustion sont lisses, de façon qu'il ne puisse s'y déposer que peu de graphite.

Les fours de COPPÉE-OTTO ont 10 mètres de longueur, 55-60 centimètres de largeur et 16 mètres de hauteur jusqu'au pied droit de la voûte plate dont la flèche est égale à 8 centimètres. Ils contiennent 6 tonnes de houille, qui sont carbonisées en 36-42 heures.

La surface de chauffe (28,4 mètres carrés avec une capacité de 9,6 mètres cubes) s'élève par charge de 1 tonne (par 1,5 m<sup>3</sup> de capacité) à 4,73 mètres carrés, par mètre cube de capacité à 2,96 mètres carrés.

Suivant la nature des houilles, on prépare en vingt-quatre heures 2,5-3 tonnes de coke.

*Four Coppée permettant de recueillir le goudron, l'ammoniaque et le benzène.*

Les gaz de la carbonisation de la houille contiennent surtout, comme éléments utilisibles, du goudron, du benzène et de l'ammoniaque. Pour que l'on puisse recueillir ces corps, les gaz de la carbonisation doivent être refroidis avant leur combustion et traités par l'eau, le goudron étant liquéfié par refroidissement des gaz, l'ammoniaque étant absorbée par traitement des gaz refroidis au moyen d'eau. Le benzène est séparé des gaz par lavage de ceux-ci avec des huiles de goudron lourdes. Le refroidissement et la séparation du goudron et du benzène des gaz abaisse la puissance calorifique de ces derniers au point que leur combustion ne fournit plus la température nécessaire pour la préparation de coke utilisable. Pour obtenir cette température, il est indispensable de réchauffer fortement les gaz et l'air nécessaire pour leur combustion ou ce dernier seulement et de disposer d'une façon convenable les carneaux de chauffage des fours à coke. Dans le four de COPPÉE permettant de recueillir le goudron et l'ammoniaque ou le benzène, tel qu'il a été établi par HOFFMANN et OTTO, l'air de combustion seul est réchauffé dans des dispositifs désignés sous le nom récupérateurs (et dont il sera question à propos des appareils établis pour la combustion des combustibles gazéiformes).

La disposition du four HOFFMANN-OTTO est mise en évidence par la figure 86. Le charbon est introduit par les ouvertures de chargement *f, f*.

Les gaz de la carbonisation sortent par les ouvertures ménagées dans la voûte du four, d'où ils passent, par les tubes *a, a*, dans les tuyaux collecteurs *c, c*. Ces derniers règnent sur toute la batterie de fours et se réunissent à l'extrémité de celle-ci en un seul conduit aboutissant aux appareils de condensation. (Il sera question de ces appareils et de l'extraction du goudron, de l'ammoniaque et du benzène à la fin du chapitre sur les fours à coke.)

Les gaz retournant des appareils de condensation arrivent sous pression, avec une température de 25° (et dépouillés de goudron et d'ammo-

niaque) dans un gazomètre, duquel ils passent dans les fours par les tubes *d, d'*. De ces tubes, ils pénètrent par les buses *e* dans le carneau de sole *g* d'une moitié du four, et ils sont brûlés à l'aide d'air fortement chauffé, qui arrive dans le carneau par les orifices *h, h*. L'air est soufflé par un ventilateur et il se rend dans la chambre *i*, remplie d'un treillis de briques chauff-

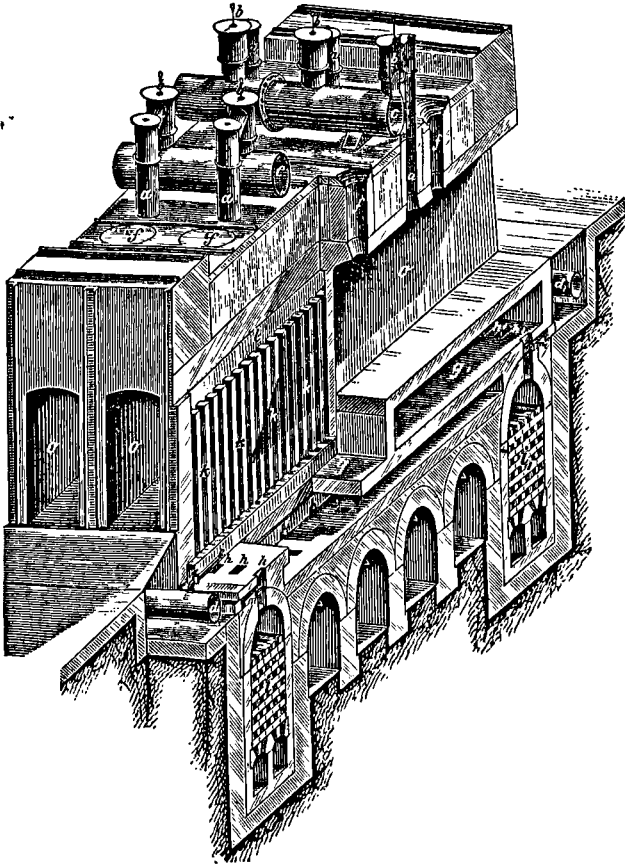


Fig. 8 . — Four à coke Otto-Hoffmann.

fées au rouge (récupérateur), s'échauffe en traversant ce dernier et, passant par les orifices *h, h*, vient se mettre en contact avec les gaz, qu'il brûle. Les gaz en combustion passent, par des ouvertures latérales ménagées dans le carneau de sole, dans les conduits verticaux *k, k* d'une moitié du carneau latéral et entrent à l'extrémité de ces conduits dans le carneau horizontal *l*, qui s'étend aussi au-dessus des carneaux verticaux latéraux de la deuxième moitié du carneau latéral. Les gaz traversent les conduits verticaux *k'* de cette deuxième moitié du carneau latéral, d'où ils se rendent dans la deuxième moitié du carneau de sole *g'* et ensuite dans la cheminée, après avoir passé à travers la chambre *i'*, remplie de briques (récu-

pérateur). En traversant le récupérateur, les gaz abandonnent au treillis de briques la majeure partie de leur chaleur. Lorsque les gaz brûlés ont passé pendant un certain temps (une demi-heure) à travers *i'* en se rendant à la cheminée, on change la direction de leur courant, à l'aide de dispositifs dont il sera question ultérieurement (valves de renversement), en les faisant passer, dans leur trajet vers la cheminée, à travers le récupérateur dont il a été question en premier lieu. On change en même temps la direction du courant de l'air de combustion, de façon que ce dernier traverse le deuxième récupérateur chauffé, avant d'arriver dans la deuxième moitié du carneau de sole, dans laquelle maintenant on fait arriver les gaz à brûler

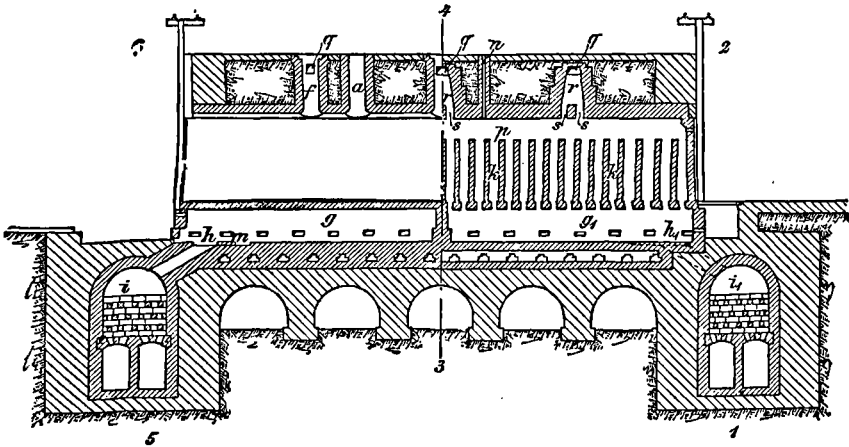


Fig. 87. — Four Otto-Hoffmann perfectionné; coupes longitudinales à travers le four (côté gauche) et à travers sa paroi (côté droit).

par le tube *d'* et la buse *e'*. On continue de cette façon à des intervalles d'une demi-heure chacun à renverser la direction des courants de gaz brûlés, d'air et de gaz non brûlés. Le réchauffage de l'air ainsi produit suffit pour obtenir avec les gaz dépouillés de goudron et d'ammoniaque la température nécessaire pour la fabrication de coke utilisable.

Les figures 87 et 88 représentent un four d'HOFFMANN-OTTO perfectionné, dans lequel on s'est surtout appliqué à obtenir un bon chauffage des carnaux latéraux agrandis en hauteur, pendant que les carnaux des soles servent pour amener et distribuer l'air chauffé et conduire les gaz brûlés dans les récupérateurs. Les barillets et les conduites du gaz ne sont pas représentés dans ces figures. Les gaz revenant des appareils de condensation sont conduits dans les carnaux *l*, qui se trouvent à côté des carnaux des soles (*g* ou *g<sub>1</sub>*). Pour maintenir à la température nécessaire les parois de la moitié du four dans laquelle les gaz descendent à un certain moment, il a été établi un chauffage auxiliaire. Ce chauffage est obtenu au moyen de l'afflux ininterrompu de gaz dans le carneau *p*, gaz qui sont amenés par le tube *n*. Le courant de ces gaz ou leur flamme passe avec le courant principal des gaz de combustion, suivant la direction donnée à ce dernier, tantôt dans l'un des récupérateurs, tantôt dans l'autre.

Lors de la mise en travail du four, on fait passer les gaz de la carbonisation par les canaux *q*, les petites cuves *r* et les fentes *s*, dans le conduit longitudinal *p*, jusqu'à ce que le four ait acquis la température nécessaire.

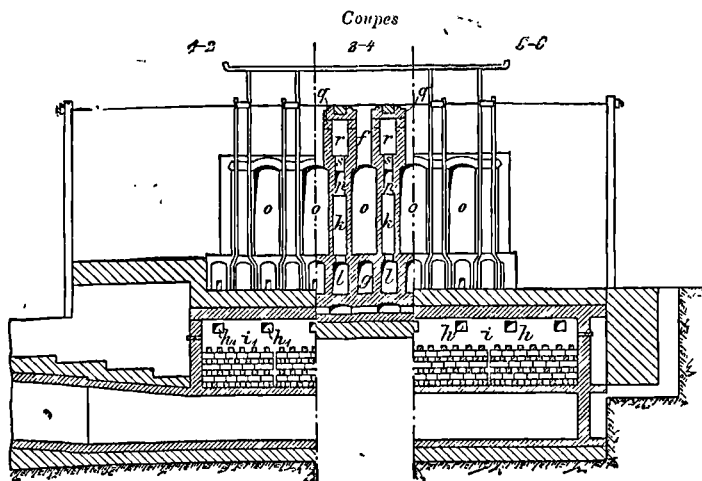


Fig. 88. — Four Otto-Hoffmann perfectionné; coupes transversales.

Lorsqu'il en est ainsi, on bouche les orifices des carneaux *q* au moyen de briques et les gaz se rendent maintenant aux appareils de condensation.

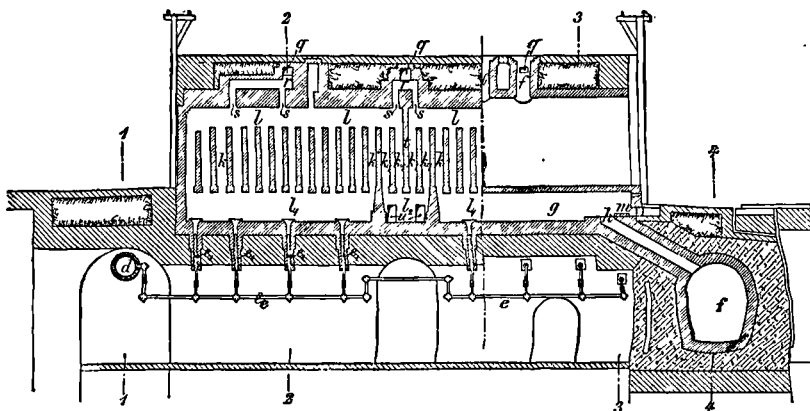


Fig. 89. — Nouveau four à coke de Otto; coupes longitudinales à travers la paroi du four (côté gauche) et à travers le four (côté droit).

La largeur de ce four est égale à 530 millimètres et sa hauteur à 1900 millimètres. Sa charge s'élève à 72 tonnes. La carbonisation dure trente-quatre heures. Dans un four, on prépare en vingt-quatre heures 4 tonnes de coke.

Le four imaginé plus récemment par Otto n'a plus de récupérateurs de chaleur, mais il est chauffé par en dessous au moyen du gaz brûlant dans des brûleurs de Bunsen. Sa disposition est mise en évidence par les figures 89 et 90, dans lesquelles les barillets ne sont pas représentés. Les gaz revenant des appareils de condensation sont dirigés dans le tuyau *d*, établi dans une galerie. Celle-ci, de même que le tuyau, s'étend sur toute la longueur de la batterie. Sous chaque four, part du tuyau *d* un branchement *e*, qui conduit le gaz dans 8 gros brûleurs de Bunsen *e*<sub>1</sub>, et ensuite dans le carneau *l*<sub>1</sub> ; de ce dernier, les gaz en combustion passent dans les carneaux

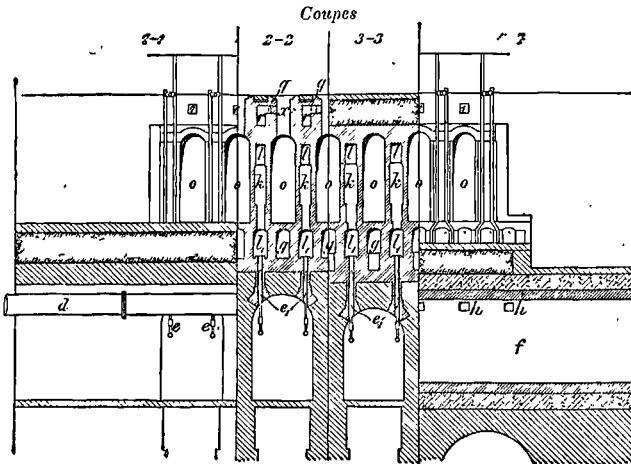


Fig. 90. — Nouveau four à coke de Otto: coupes transversales.

verticaux *k* et ensuite dans le carneau inférieur horizontal *l*, qui est divisé suivant sa longueur en deux moitiés par la cloison *t*. Du carneau *l*, les gaz passent maintenant de chaque côté de la cloison *t* dans les carneaux *k*<sub>1</sub> et de ceux-ci se rendent dans le compartiment *l*<sub>2</sub>, formé par deux cloisons, du carneau longitudinal *l*<sub>1</sub>. De *l*<sub>2</sub>, ils passent par les ouvertures *u* dans le carneau de sole *g* et ensuite de ce dernier, par les fentes *h*, dans la galerie *f* conduisant à la cheminée. Le gaz arrivant sous pression aspire de l'extérieur l'air nécessaire pour la combustion. Cet air se réchauffe au contact de la maçonnerie de l'infrastructure du four. Bien que l'air ne subisse ensuite d'autre réchauffement qu'au contact des parois des buses, la température dans les carneaux est au moins aussi élevée que lorsqu'on se sert de récupérateurs. La suppression de ces derniers et des appareils de renversement diminue les frais d'établissement et simplifie le travail.

Parmi les autres fours à carneaux verticaux, nous mentionnerons le four de TH. BAUER<sup>1</sup>, le four de F. BRUNCK<sup>2</sup>, le four de RUPPERT<sup>3</sup> et celui de NEINHAUS<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Brevet allemand, n° 67275.

<sup>2</sup> Brevet allemand, n° 73504.

<sup>3</sup> Brevets allemands, n° 24404 et 26307.

<sup>4</sup> Brevet allemand, n° 94016.

## Fours avec carneaux horizontaux.

Les fours à carneaux horizontaux les plus connus sont les fours de HALDY, de SMET, de WINTZECK et de CARVÉS; ce dernier four est disposé pour recueillir le goudron et l'ammoniaque.

Dans le plus ancien des dispositifs de cette espèce, le four de HALDY, il y a une série d'ouvertures dans la naissance de la voûte de l'un des côtés

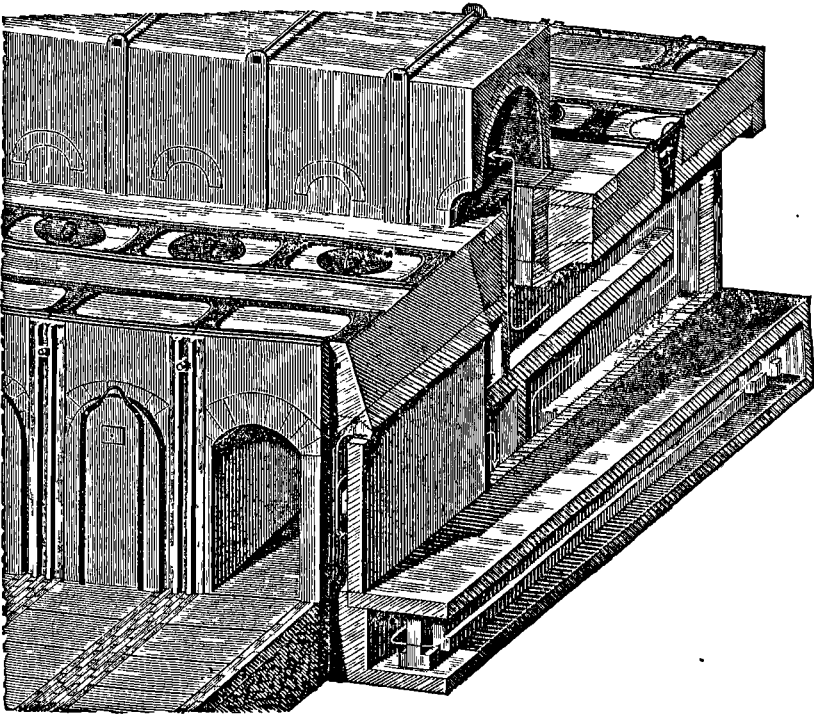


Fig. 91. — Four à coke de Smet.

du four et sur toute la longueur de ce côté. Les gaz de la carbonisation pénètrent par ces ouvertures dans le carneau latéral, qui se trouve entre le four et le four voisin. Ce carneau est divisé en deux moitiés par une languette horizontale. Le carneau de sole est également partagé en deux moitiés suivant sa longueur au moyen d'une languette. Les gaz traversent d'abord la moitié supérieure du carneau latéral, ensuite la moitié inférieure, puis ils passent dans le carneau de sole, en traversent d'abord une moitié, puis l'autre moitié, et arrivent dans la galeric commune conduisant à la cheminée.

Ce four a été perfectionné par SMET, qui ne fait passer les gaz que dans une moitié de la paroi latérale.

Un four de cette espèce est représenté par la figure 91. Dans cette figure,



le trajet suivi par les gaz est indiqué par des flèches. Les gaz sortant du four entrent *dans une moitié* du carneau latéral, la traversent de haut en bas suivant la direction des flèches et arrivent ensuite dans le carneau de sole. Celui-ci est partagé en deux moitiés par une languette longitudinale. Celle de ces moitiés touchant au carneau latéral est divisée en deux compartiments par une cloison transversale, tandis que l'autre moitié longitudinale ne l'est pas. Les gaz venant d'une moitié du carneau latéral pénètrent dans le premier compartiment de la première moitié du carneau de sole, puis traversent toute la deuxième moitié de ce dernier carneau, arrivent ensuite dans le deuxième compartiment de la première moitié de ce même carneau, passent de ce compartiment dans la seconde moitié du carneau latéral, la traversent de bas en haut et arrivent ensuite dans la cheminée par la galerie s'étendant au-dessus du four.

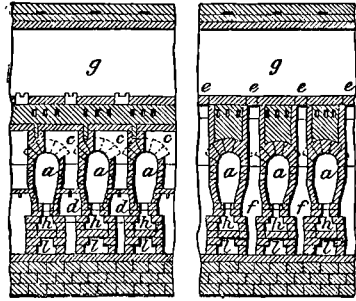


Fig. 92 et 93. — Four à coke de Wintzeck; coupes transversales.

Dans ce dispositif, la deuxième moitié du four est chauffée par des gaz moins chauds que la première moitié. Le four a 8,5 mètres de longueur, 68-76 centimètres de largeur et 1,65 mètre de hauteur jusqu'au sommet de la voûte. La surface de chauffe par tonne de charge est égale à 4,34 mètres carrés;

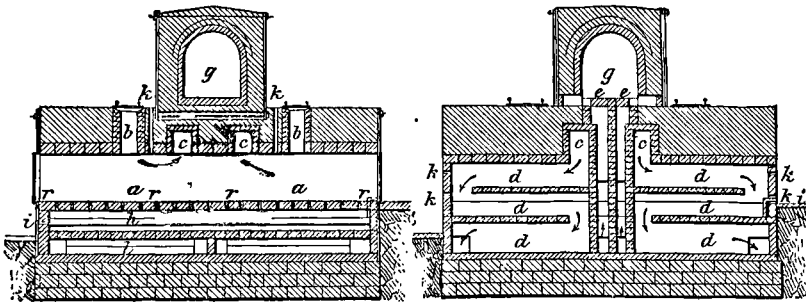


Fig. 94 et 95. — Four à coke de Wintzeck; coupes longitudinales.

la charge s'élève à 5 000 kilogrammes; la carbonisation dure de quarante-deux à quarante-huit heures.

Dans le four de WINTZECK<sup>1</sup>, les gaz sont dirigés à peu près comme dans le four de SMET, mais il y a deux carneaux de sole superposés, dont le supérieur sert pour le chauffage de la sole. La disposition de ce four est mise en évidence par les figures 92 à 95<sup>2</sup>.

Les gaz qui servent à chauffer les parois du four passent par deux carneaux *c, c* dans le carneau de la paroi *d*, puis ils pénètrent, en deux cou-

<sup>1</sup> Brevet allemand, n° 2005.

<sup>2</sup> F. FISCHER, *Chemische Technologie der Brennstoffe*, t. II, p. 91.

rants séparés, en traversant de haut en bas chaque moitié du carneau, dans les moitiés correspondantes du carneau de sole inférieur  $l$  et, de ce dernier, ils arrivent dans les carneaux verticaux  $f$ , qui les conduisent dans la galerie commune  $g$ , communiquant avec la cheminée. De l'air est introduit dans le carneau de sole supérieur  $h$  par les ouvertures  $i$ . Dans ce même carneau pénétrant, par des fentes ménagées dans la sole du four, les gaz se dégagent au fond de ce dernier, et ces gaz sont brûlés par l'air introduit ; la sole se trouve donc fortement chauffée. Au moyen du registre

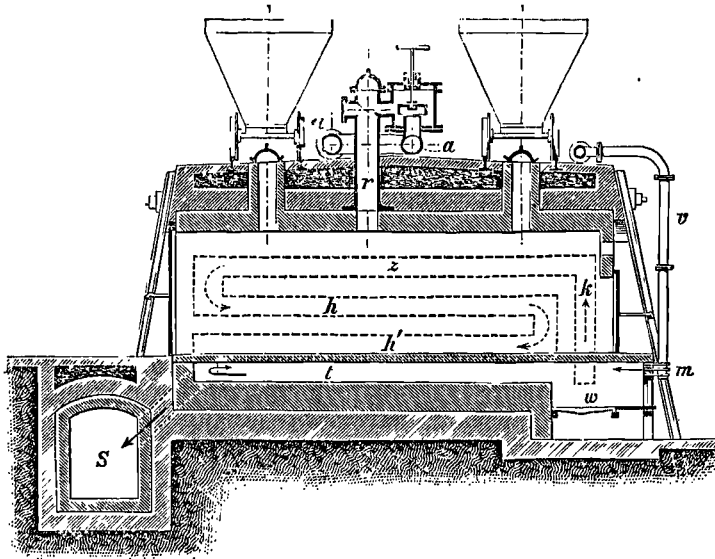


Fig. 96. — Four à coke de Carvès.

horizontal  $e$ , établi dans la galerie commune  $g$ , on règle l'abduction des gaz et l'introduction de l'air.

D'après un brevet d'addition (n° 26131), les gaz de la carbonisation, sortant du four par des fentes ménagées dans la sole de ce dernier, se rendent dans le carneau de sole supérieur et ensuite dans l'inférieur, puis ils traversent de bas en haut les carneaux de la paroi et ils passent ensuite dans la galerie commune.

Le four de WINTZECK, qui convient surtout pour la carbonisation des houilles riches en gaz, est en usage dans la Haute-Silésie.

Parmi les fours à carneaux horizontaux, avec dispositifs pour recueillir les produits secondaires, le four de CARVÈS offre un intérêt particulier, parce qu'il est le premier four à coke avec lequel CARVÈS, en 1867, a combiné l'extraction du goudron et de l'ammoniaque, et obtenu en même temps un coke de bonne qualité. CARVÈS chauffe aussi bien les gaz dépouillés de goudron et d'ammoniaque que l'air nécessaire pour la combustion de ces gaz. La disposition de ce four est représentée par la figure 96.

Les gaz produits dans le four passent par le tube  $r$  dans les tuyaux collecteurs  $a, a$ , qui les conduisent dans des appareils de condensation analogues.

gues à ceux dont nous avons parlé à propos du four de COPPÉE. Lorsqu'ils ont été dans ces appareils dépouillés de goudron et d'ammoniaque, ils sont ramenés vers le four par le tube *v*. De ce dernier, ils passent par des buses horizontales *m* au-dessus de la grille *w*, sur laquelle est entretenu un feu de coke. Les gaz ainsi réchauffés sont brûlés par de l'air, qui est introduit par la grille et qui est également chauffé par son passage

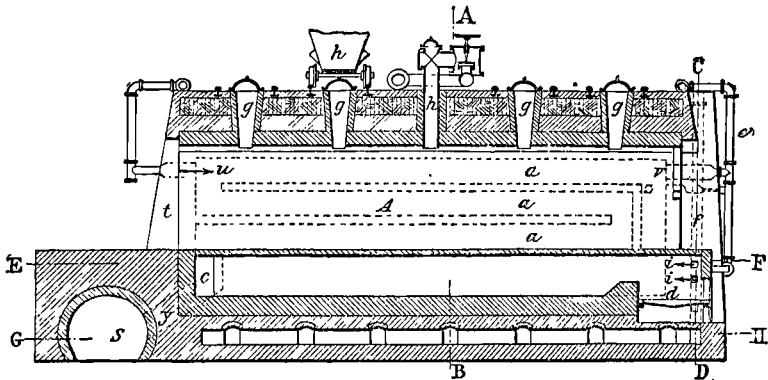


Fig. 97. — Four à coke de Hussener; coupe longitudinale.

à travers la colonne de coke. Les gaz en combustion passent d'abord dans le carneau de sole *t*, divisé en deux moitiés par une languette longitudinale, puis ils montent par le conduit *k* dans la branche supérieure *z* du

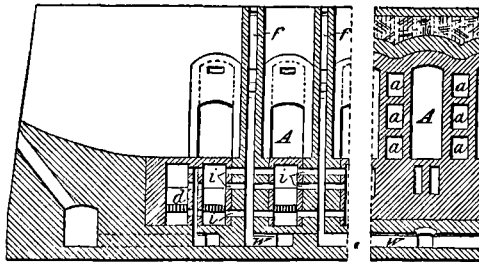


Fig. 98,

Fig. 99.

Fig. 98. — Four de Hussener; coupe transversale suivant CD (Fig. 97).

Fig. 99. — Four de Hussener; coupe transversale suivant AB (Fig. 98).

carneau latéral, ils descendent ensuite par les branches horizontales *h* et *h'*, pour se rendre dans la galerie commune *S*.

Le mouvement des gaz est produit au moyen d'un exhausteur comme dans les autres dispositifs.

Le four de CARVÈS a été perfectionné par HUSSENER, qui l'a disposé de façon à ce qu'il fournisse un plus fort rendement. Ce four est représenté par les figures 97 à 101<sup>†</sup>. Les gaz de la carbonisation de la houille, chargée

<sup>†</sup> F. FISCHER, *loc. cit.*, p. 97.

dans la chambre A, par les quatre ouvertures *g, g*, sont aspirés par le tuyau *h* et envoyés aux appareils de condensation. Les gaz revenant de ces derniers

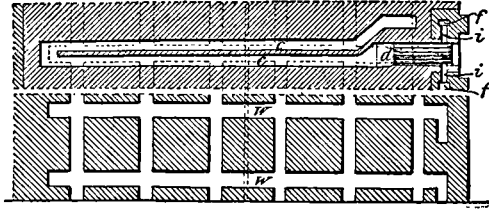


Fig. 100 et 101. — Four de Hussener; plans suivant EF et GH (Fig. 97).

sont refoulés partie dans le foyer *d* par le tube *e*, partie dans le carneau de paroi supérieur *a*, par un tube traversant en *u* le côté opposé du four. Le tube *e* aboutit dans un double tube annulaire. De l'air est introduit par le tube intérieur, tandis que le gaz s'échappe par l'espace annulaire qui se trouve entre les deux tubes.

L'introduction du gaz en *u* élève la température de façon que le foyer à grille n'est plus nécessaire. L'air est amené par les carneaux *w*, où il est

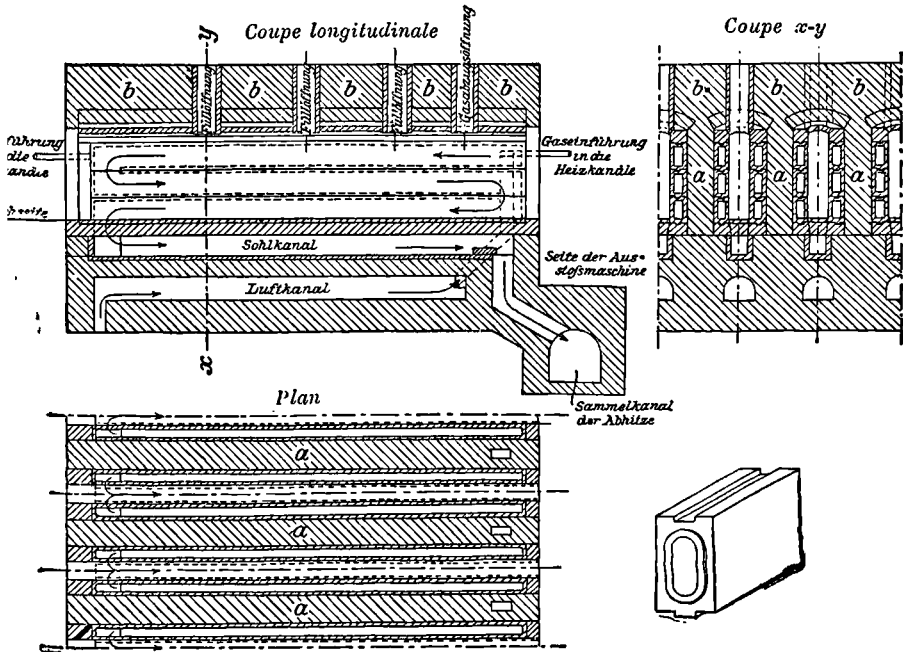


Fig. 102 à 105. — Four à coke de Semet-Solvay.

*Füllöffnung* = Ouverture de chargement.  
*Gasabzugsöffnung* = Ouverture de sortie du gaz.  
*Gaseinführung in die Heizkante* = Introduction du gaz dans les carneaux de chauffage.  
*Löschseite* = Côté du coke.

*Luftkanal* = Canal pour l'air.  
*Sammelkanal der Abhitze* = Canal d'appel.  
*Seite der Ausstoßmaschine* = Côté de la défourneuse.  
*Sohlkanal* = Carneau de sole.

chauffé à 300°. De ceux-ci, il monte dans les contreforts de *t* par les conduits verticaux *f*, pour se rendre finalement par *i* dans le foyer *d* et

par *g* dans le carneau de paroi supérieur *a*. Les contreforts en maçonnerie *t* sont destinés à soutenir le front des parois qui se trouvent entre deux fours et à empêcher l'introduction de l'air dans les carneaux.

Ces fours sont en usage dans les environs d'Essen (usines de la AKTIEN-GESELLSCHAFT FÜR KOHLENDESTILLATION). Leur chambre de carbonisation est longue de 9 mètres, large de 0,575 mètre et haute de 1,8 mètre, et elle contient 5,5 tonnes de houille. La carbonisation dure 55-60 heures.

Les houilles grasses y donnent comme rendement du 75 p. 100 de coke en morceaux ; 0,8 p. 100 de coke menu ; 1,2 p. 100 de fraïsil ; 2,77 p. 100 de goudron ; 1,10 p. 100 de sulfate d'ammonium.

Dans les barillettes placés au-dessus du four, les gaz sont sous une pression de 2 millimètres d'eau, et ont une température de 75-80°. Les gaz reviennent des appareils de condensation avec une température de 150° et ils sont sous une pression de 90-100 millimètres d'eau.

Pour les autres fours à coke avec carneaux de paroi horizontaux et extraction des produits secondaires, nous mentionnerons le four de FESTNER-HOFFMANN<sup>1</sup>, qui est en usage dans la Basse Silésie et le four de SEMET-SOLVAY, qui est surtout employé en Belgique.

La disposition du four de SEMET-SOLVAY<sup>2</sup> est mis en évidence par les figures 102 à 105. La voûte du four *b* est supportée par de robustes pieds-droits *a*. De chaque côté de ces murs se trouvent les parois latérales des chambres de carbonisation. Ces parois se composent de trois rangées superposées de briques creuses (fig. 105), qui forment des carneaux horizontaux. Une partie du gaz venant des appareils de condensation entre dans la rangée supérieure des carneaux, du côté de la défourneuse et descend dans les carneaux de solc, en parcourant successivement la rangée intermédiaire et la rangée inférieure. Une seconde introduction de gaz a lieu dans la rangée intermédiaire, du côté de la sole de défournement (côté du coke). L'air nécessaire à la combustion du gaz est préalablement chauffé dans des canaux, placés sous les carneaux des soles. Les pieds droits *a* cèdent la chaleur accumulée dans leur masse aux carneaux à minces parois, dès que ceux-ci se refroidissent, comme cela arrive, par exemple, lorsqu'on charge les chambres de carbonisation avec des houilles humides.

Ce four a l'avantage de ne pas exiger de très grands frais d'établissement.

#### FOURS A COKE A TRAVAIL CONTINU

Le seul four à travail continu indiqué jusqu'ici est celui de LÜRMANN, qui toutefois n'est nulle part adopté. Malgré cela, une description de sa disposition ne saurait être sans intérêt.

Il se compose essentiellement d'une chambre de carbonisation à grand axe horizontal et d'une chambre de refroidissement s'y rattachant, dans laquelle est reçu et refroidi le coke refoulé de la première chambre.

La chambre de carbonisation, par suite de l'inclinaison de sa sole, va

<sup>1</sup> Brevets allemands, n° 67395 et 103577.

<sup>2</sup> Brevet allemand n° 18935 ; BECKERT. *Feuerungskunde*, p. 75.

s'élargissant d'un de ses côtés courts vers l'autre. A son extrémité étroite, la houille est déversée au moyen d'une trémie et poussée dans le four à l'aide d'un piston animé d'un mouvement de va-et-vient, ou au moyen d'une hélice à axe horizontal. La pression ainsi exercée se propage sur la masse qui se trouve dans le four, de sorte qu'à l'extrémité opposée ouverte de la chambre il est refoulé autant de coke qu'il est introduit de houille dans celle-ci.

La *chambre de refroidissement* est une enceinte refroidie par de l'air, munie de portes fermant hermétiquement et dans laquelle tombe le coke qui est refoulé de la chambre de carbonisation. Ce dernier est retiré de

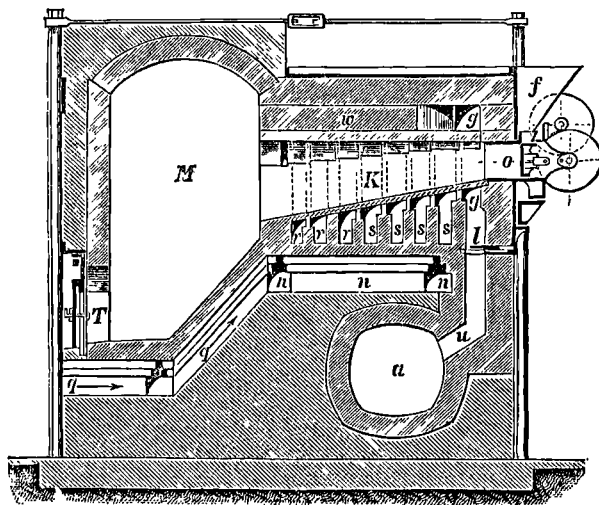


Fig. 106. — Four à coke continu de Lürmann.

temps en temps de la chambre de refroidissement, après ouverture de ses portes.

La chambre de carbonisation est chauffée sur ses deux côtés longs, sur sa sole et sur sa voûte par les gaz résultant de la carbonisation. La surface chauffée de la chambre s'élève à 80 p. 100 de sa surface totale. L'air de combustion est chauffé dans les parois de la chambre de refroidissement. Le dégagement des gaz étant uniforme, la quantité de l'air peut être exactement réglée.

La disposition de ce four est mise en évidence par la figure 106. K est la chambre de carbonisation, construite en briques réfractaires minces, M la chambre de refroidissement, avec porte T fermant hermétiquement. *f* est la trémie pour le chargement de la houille à carboniser, *o* le piston, qui pousse la houille dans la chambre de carbonisation et en même temps refoule le coke de celle-ci dans la chambre de refroidissement. Au-dessus de la voûte de la chambre de carbonisation se trouve un carneau de chauffage, qui est partagé en deux moitiés suivant sa longueur au moyen d'une languette en maçonnerie *w*. Les gaz de la combustion arrivent de la chambre dans la moitié gauche de ce carneau, ils passent ensuite dans

des conduits latéraux verticaux (indiqués par des points), puis dans les carneaux de la sole *s*, *s*, et de ceux-ci, par des conduits verticaux latéraux établis sur le côté droit de la chambre, dans la moitié droite du carneau qui se trouve au-dessus de la voûte de *K*. A l'extrémité de cette moitié du carneau, ils arrivent dans le conduit *g* et de celui-ci, par le conduit incliné *u*, dans la galerie *a* conduisant à la cheminée. Le tirage est réglé au moyen du registre *l*, refroidi avec de l'eau.

L'air nécessaire pour la combustion des gaz de la carbonisation est réchauffé dans les carneaux *q*, qui entourent la chambre de refroidissement, dans les carneaux *r*, qui se trouvent au-dessus de la chambre de carbonisation, et dans les carneaux *n'*, qui sont ménagés au-dessus des carneaux de chauffage.

On a traité dans ce four des mélanges de houilles collantes et d'anthracite. Après leur ramollissement, les masses furent comprimées et donnèrent un coke compact et résistant.

#### *Extraction du goudron, de l'ammoniaque et du benzène des gaz des fours à coke.*

Le goudron se sépare lorsqu'on refroidit les gaz des fours à coke à 20-25°. Il ne passe dans le goudron qu'une très faible quantité du benzène. L'ammoniaque est retirée des gaz refroidis par lavage de ceux-ci avec de l'eau froide, qui l'absorbe.

Le benzène est absorbé par des huiles lourdes de goudron. On le retire par lavage avec ces huiles des gaz dépouillés de goudron et d'ammoniaque et séparation de l'hydrocarbure absorbé par distillation.

Dans quelques usines, on n'extrait que le goudron et l'ammoniaque, tandis que le benzène reste dans le gaz.

L'extraction des produits secondaires est conduite de la manière suivante. Le goudron, après élimination des poussières, est d'abord recueilli dans des appareils particuliers, refroidis au moyen d'eau, avec une portion de l'eau ammoniacale; l'ammoniaque est ensuite séparée des gaz par absorption au moyen d'eau dans des appareils spéciaux (premier épurateur et laveur à cloches) et enfin le benzène est enlevé aux gaz par lavage avec des huiles lourdes de goudron dans des appareils à absorption.

La séparation du goudron des gaz commence déjà dans les barillets et les tubes collecteurs, mais il ne s'y condense que ses éléments entrant en ébullition à haute température. La condensation du goudron n'est complète que par un refroidissement de ses vapeurs jusqu'à 20°. Le refroidissement à cette température a lieu dans des appareils réfrigérants.

Les gaz qui possèdent une température de 140° sont, avant leur entrée dans les appareils de réfrigération, dépouillés des poussières qu'ils ont entraînées, parce que, sans cette précaution, le dépôt de ces matières dans les réfrigérants nuirait au bon fonctionnement de ces derniers. Dans ce but, on fait passer les gaz successivement à travers plusieurs cylindres en tôle de 1,5-2 mètres de diamètre et 6-6,5 mètres de hauteur, d'où ils se rendent ensuite dans les *appareils de réfrigération*. Ceux-ci sont des

tours en tôle à section horizontale rectangulaire ou circulaire, dans lesquelles le gaz est refroidi indirectement par de l'eau.

La disposition du réfrigérant ordinairement employé pour le refroidissement des gaz est mise en évidence par les figures 107 et 108. Il est à section horizontale rectangulaire (1,65  $\times$  1,25 m.) et il a une hauteur de 7 mètres. L'espace B, où a lieu le refroidissement, a 5,5 mètres de hauteur; il est traversé par 90 tubes (ayant chacun 10 centimètres de diamètre) et il est partagé suivant sa hauteur, au moyen d'une cloison, en deux compartiments. Au-dessus de B, se trouve un bassin A, dans lequel arrive de l'eau froide par le tube *b*. Celle-ci tombe par une moitié des tubes dans l'autre bassin C, qui se trouve au-dessous de B et remonte ensuite par la deuxième moitié des tubes dans le bassin D. De ce dernier, elle coule dans un autre appareil de réfrigération offrant la même disposition que celui qui vient d'être décrit et il est traversé de la même manière que le

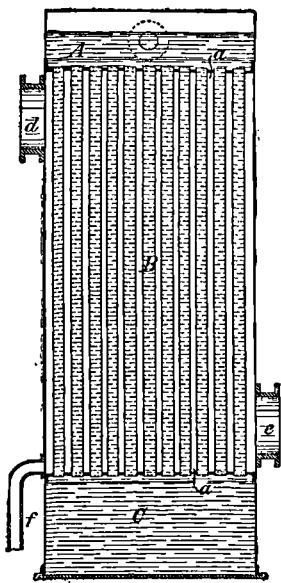


Fig. 107. — Appareil pour le refroidissement des gaz des fours à coke; coupe verticale.

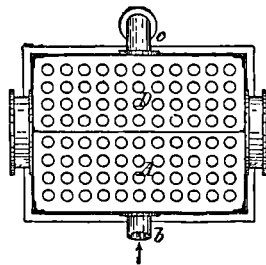


Fig. 108. — Appareil pour le refroidissement des gaz des fours à coke; coupe horizontale.

premier. Les gaz pénètrent par le tube *d* dans l'espace B, le traversent de haut en bas et arrivent, refroidis par le contact avec les tubes, dans un second appareil réfrigérant, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'ils soient refroidis à 25°. Du goudron et de l'eau ammoniacale se précipitent sur le fond de B et sont dirigés par le tube *f* dans un bassin collecteur. Il y a ordinairement quatre appareils réfrigérants, que les gaz traversent successivement. L'eau échauffée jusqu'à 60° sortant du dernier appareil est dirigée, en vue de son refroidissement, sur un bâtiment de graduation et elle est ensuite employée de nouveau comme eau de réfrigération. Si l'eau ne doit pas être retournée aux appareils de refroidissement, on s'en sert pour l'alimentation des chaudières à vapeur.

Les appareils de condensation établis dans un grand nombre d'usines par C. OTTO ET C<sup>ie</sup> possèdent pour 60 fours à coke, 8 réfrigérants, qui sont disposés l'un à côté de l'autre, en deux groupes de quatre appareils. Les gaz y sont refroidis de 75° à 25°.



On emploie aussi des réfrigérants cylindriques, dans lesquels les gaz traversent de haut en bas des tubes en fer, qui se trouvent dans l'espace où a lieu le refroidissement, tandis que l'eau traverse cet espace.

Des réfrigérants, les gaz se rendent dans des appareils où l'ammoniaque qu'ils renferment est absorbée par de l'eau froide. Dans ce but, on fait passer à plusieurs reprises les gaz disséminés en bulles à travers des

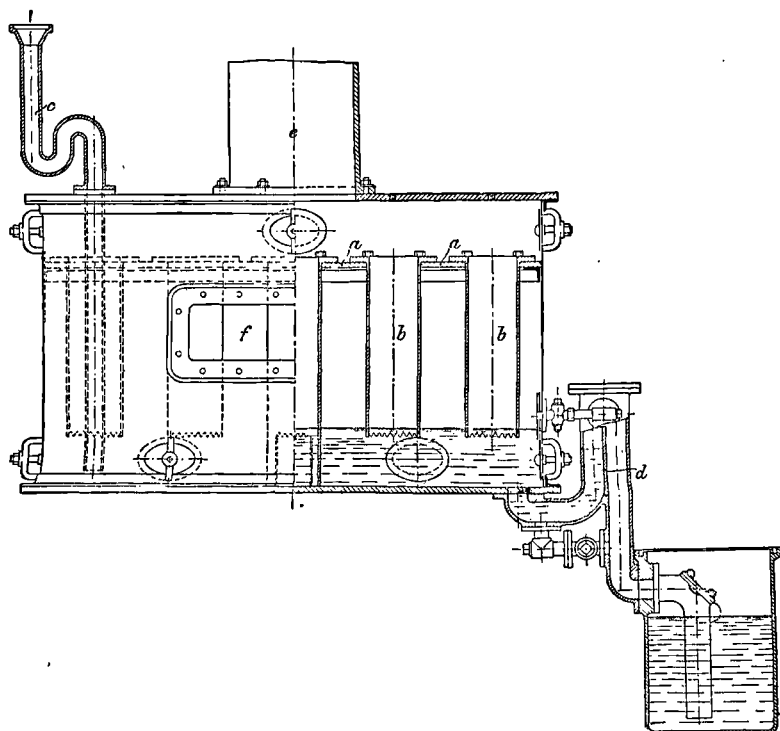


Fig. 109. — Appareil pour l'absorption de l'ammoniaque des gaz des fours à coke (premier épurateur).

couches d'eau, et à cet effet on leur fait d'abord traverser un premier épurateur et ensuite un laveur à cloches.

Entre ces appareils, se trouvent des aspirateurs à gaz. Ce sont des pompes centrifuges qui, avec un tuyau d'admission de 450 millimètres de diamètre intérieur, un cylindre extérieur de 1 000 millimètres de diamètre et 80 tours, mettant en mouvement 2 300 mètres cubes de gaz par minute. Ils aspirent les gaz des fours à coke, en leur faisant traverser successivement les conduites, les appareils à poussières, les refroidisseurs et les premiers épurateurs, et de ces derniers, ils les refoulent vers les épurateurs à cloches et le gazomètre, d'où ils les renvoient aux fours à coke. La dépression devant les refroidisseurs et les premiers épurateurs (dont 8 de chacun de ces appareils sont établis l'un à côté de l'autre) s'élève à 20 millimètres d'eau, et devant les pompes (deux travaillent en même

temps), elle est égale à 95 millimètres d'eau. La pression immédiatement derrière celles-ci s'élève à 450 millimètres d'eau. Par suite de la compression, la température des gaz est élevée de 4-5°. Afin de les refroidir, on les fait passer à travers un réfrigérant.

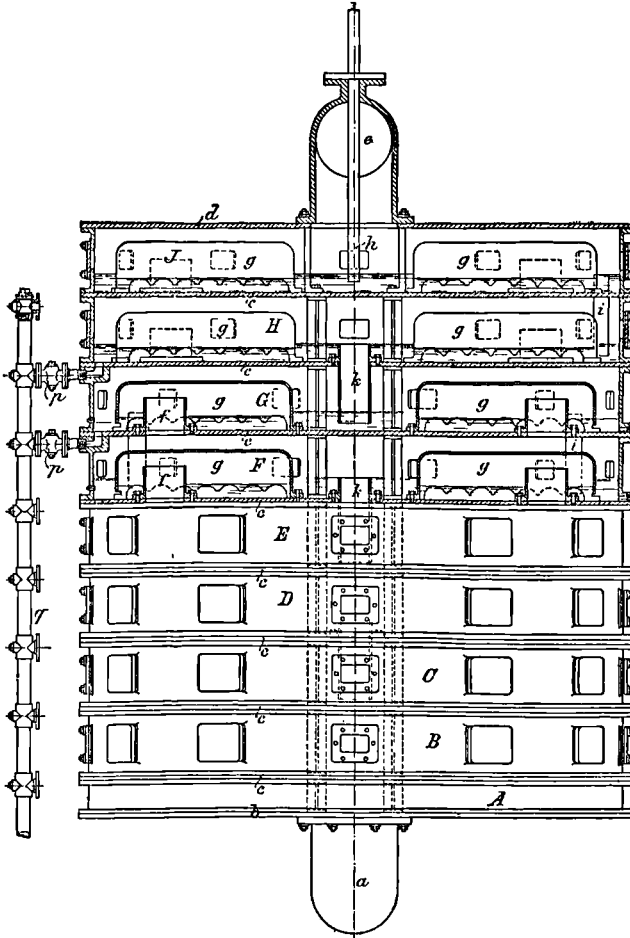


Fig. 410. — Laveur à cloches pour l'absorption de l'ammoniaque des gaz des fours à coke; vue extérieure et coupe verticale.

La disposition de l'un des premiers épurateurs, dans lesquels les gaz sont aspirés, est représentée par la figure 109<sup>1</sup>. Dans une caisse en tôle à section carrée, avec côtés de 2 mètres de longueur et une hauteur de 1,2 m., se trouve une cloison horizontale *a*, établie à 25 centimètres au-dessous du couvercle; cette cloison est pourvue de 25 ouvertures dans chacune desquelles est suspendu un tube *b*, de 200 millimètres de diamètre et

<sup>1</sup> BECKERT, *Feuerungskunde*, p. 82.

775 millimètres de largeur. Ces tubes sont dentés à leur extrémité inférieure et ils plongent de 55 millimètres dans le liquide absorbant (eau ammoniacale diluée venant des appareils à poussières et des refroidisseurs). Ce dernier arrive par le tube *o* et s'écoule par le trop-plein *d*, et de cette façon le liquide est maintenu dans la caisse à un niveau déterminé. Les gaz entrant par le tuyau *e* viennent se mettre en contact par les tubes *b, b* avec le liquide, qu'ils traversent, pour passer dans l'espace qui se trouve au-dessus de lui, et ils sortent ensuite par un tuyau adapté à l'ajutage *f*. Le bord denté des tubes *b, b* divise les gaz en bulles, qui montent dans le liquide, auquel ils cèdent une partie de leur ammoniacque. Le liquide est

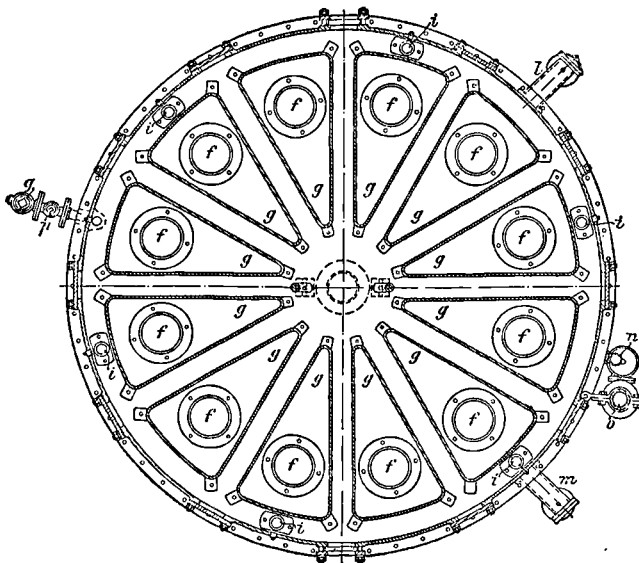


Fig. 111. — Laveur à cloches; coupe horizontale.

ainsi transformé en eau ammoniacale concentrée, qui est écoulee dans un réservoir spécial.

Du premier épurateur les gaz passent dans la pompe et sont refoulés par un appareil refroidisseur (deuxième réfrigérant) et ensuite dans trois laveurs à cloches établis l'un à côté de l'autre.

Le laveur à cloches, dans lequel les gaz traversent successivement plusieurs couches de liquide, est représenté par les figures 110 et 111<sup>1</sup>. Il se compose d'une série d'appareils laveurs de forme cylindrique, établis les uns au-dessus des autres. Ils ont chacun intérieurement 2,75 mètres de diamètre et 35 centimètres de hauteur. Les gaz pénètrent par en bas dans le laveur par le tuyau *a*; ils se rendent d'abord dans l'espace A et de celui-ci ils passent dans l'espace B par les 12 tubulures *f*, dont sont pourvues les cloisons horizontales *c*. Ces tubulures conduisent les gaz dans les cloches *g*, qui par leur bord inférieur denté plongent dans le liquide absorbant. Les

<sup>1</sup> BECKER, *loc. cit.*, p. 84.

gaz, divisés par les bords dentés des cloches en une infinité de petits courants, sont refoulés dans le liquide absorbant, auquel ils abandonnent leur ammoniacque. Du liquide absorbant, les gaz passent dans l'espace au-dessus des cloches et ensuite, par les 12 tubulures *f* que porte la deuxième cloison *c*, ils se rendent au-dessus des cloches du laveur C. De celui-ci, ils passent, après avoir traversé le liquide absorbant, dans le laveur D et ainsi de suite jusqu'au laveur J,

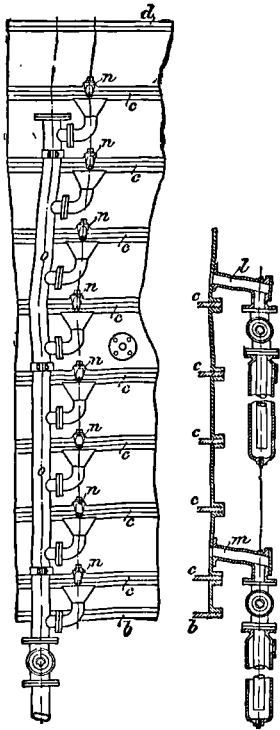


Fig. 112. — Laveur à cloches ; dispositif pour la vidange complète et l'écoulement des eaux ammoniacales.

laveur, on lave celui-ci de temps en temps (toutes les trois semaines) au moyen d'un courant de vapeur. Si les gaz sortant des appareils laveurs ne doivent pas être dépouillés de leur benzène, on les dirige dans un gazomètre, qui les amène à la même pression et duquel ils se rendent dans les fours à coke avec une pression de 20 à 40 millimètres d'eau.

Si au contraire on doit enlever le benzène aux gaz, on fait passer ceux-ci à travers une série d'appareils laveurs offrant la même disposition que ceux dont il vient d'être question et dans lesquels des huiles lourdes de goudron servent comme liquide absorbant. Les gaz sortant des laveurs sont envoyés dans le gazomètre et ensuite aux fours à coke.

Des huiles de goudron qui ont absorbé le benzène, ce dernier est séparé par distillation à une température déterminée.

Parmi les autres procédés indiqués pour l'extraction du benzène des gaz des fours à coke, nous mentionnerons les procédés d'HIRZEL<sup>1</sup>, d'HEINZERLING<sup>2</sup>, de la COMPAGNIE POUR LA FABRICATION DES COMPTEURS ET MATÉRIEL D'USINES A GAZ<sup>3</sup> et de THEISEN<sup>4</sup>.

b. — COMBUSTIBLES ARTIFICIELS LIQUIDES

Aux combustibles artificiels liquides appartiennent la **kérosine** et les *résidus liquides du traitement du pétrole brut pour kérosine*, désignés sous le nom de **résidus de naphte** (*masut* de Bakou). La kérosine n'est pas employée comme combustible dans la grande industrie, mais on se sert des résidus provenant de sa séparation du naphte brut par distillation, résidus qui forment 65 p. 100 du poids du pétrole brut. Ils ont un poids spécifique de 0,90 à 0,91 et sont surtout employés comme combustibles lors de la distillation de l'huile brut, ainsi que pour le chauffage de chaudières à vapeur. On peut s'en servir comme combustibles dans les opérations métallurgiques (comme cela a lieu à Kedabeg, au Caucase, où ils sont employés pour la fusion des minerais de cuivre et le raffinage du cuivre).

c. — COMBUSTIBLES ARTIFICIELS GAZEUX

Les combustibles gazéiformes artificiels sont les gaz de carbonisation, les gaz de générateurs ou gaz de gazogènes ou gaz à l'air, le gaz à l'eau et le gaz mixte, qui consiste, en un mélange de gaz d'air et de gaz à l'eau.

L'emploi de gaz combustibles pour le chauffage remonte au siècle dernier et il ne s'est répandu qu'à partir de l'année 1840.

On peut obtenir par la combustion des gaz une plus haute température qu'en brûlant des combustibles solides et liquides, parce que l'air de combustion peut être mélangé avec les gaz de la manière la plus intime, et c'est pour cela qu'un grand excès d'air n'est pas nécessaire, comme avec les combustibles solides et liquides. Par suite de cela, la chaleur produite se répartit sur une quantité relativement faible de produits de combustion gazeux, ce qui élève la température de combustion.

En outre, lorsqu'on produit de hautes températures en brûlant des combustibles gazéiformes, les gaz brûlés, les flammes perdues, peuvent encore être utilisés avantageusement pour réchauffer l'air de combustion et les gaz à brûler, ce qui avec les combustibles solides et liquides n'est pas possible dans la même mesure.

Les combustibles, qui à cause de leur teneur élevée en eau, conviennent peu pour la combustion directe, peuvent encore être employés avantageusement pour préparer des gaz, parce qu'il est possible, avant la combustion du mélange gazeux produit, d'en séparer la vapeur d'eau. De même, les combustibles solides pulvérulents et de peu de valeur qui ne peuvent

<sup>1</sup> Brevets allemands nos 96228 et 112452.

<sup>2</sup> Brevet allemand n° 66664.

<sup>3</sup> Brevet allemand n° 99380.

<sup>4</sup> Brevet allemand n° 111825.

guère être brûlés directement, peuvent aussi être utilisés avec avantage pour préparer des gaz.

C'est pour cela qu'on a recours au chauffage par les gaz, lorsqu'il s'agit de produire de très hautes températures (de sorte que les gaz brûlés peuvent sortir de l'enceinte où a lieu la combustion avec une température encore très haute et sont employés utilement pour le réchauffage de l'air de combustion et des gaz), lorsque de grands espaces doivent être chauffés *uniformément à une haute température*, que l'on ne peut pas atteindre par chauffage direct, et lorsqu'on veut utiliser des combustibles contenant de l'eau ou de peu de valeur. Dans ce cas, la chaleur est mieux utilisée qu'en brûlant directement des combustibles solides et liquides. La chaleur dégagée par la combustion de combustibles solides et liquides est au contraire mieux utilisée, lorsqu'il s'agit du chauffage de petits espaces et de l'obtention de températures peu élevées, et lorsque la chaleur contenue dans les gaz de combustion peut être utilisée jusqu'à des températures ne dépassant pas 300°-200° (chaudières à vapeur, fours à pelletage continu).

#### Gaz de carbonisation.

Ces gaz prennent naissance lors de la carbonisation à l'abri de l'air, du bois, de la tourbe, du lignite et de la houille. Comme combustibles, on se sert surtout des gaz qui se dégagent lors de la carbonisation de la houille pratiquée comme on l'a dit précédemment. Les gaz des fours à coke ne diffèrent pas beaucoup, relativement à leur composition, du gaz d'éclairage préparé par distillation sèche de charbons à gaz, comme le montrent les analyses suivantes :

	Gaz de four à coke.	Gaz d'éclairage.
Vapeurs de benzène . . . . .	0,61	1,53
Ethylène . . . . .	1,63	1,19
Hydrogène sulfuré. . . . .	0,43	—
Acide carbonique . . . . .	1,41	0,87
Oxyde de carbone . . . . .	6,49	5,40
Hydrogène . . . . .	53,32	55,00
Méthane. . . . .	36,11	36,00

La chaleur de combustion du gaz d'éclairage (de 1 kilogramme) est égale à 10 159 Cal. ou 5 350 Cal. pour 1 mètre cube.

[Le gaz Riché, dont il sera question plus loin, est également un gaz de carbonisation.]

#### Gaz de gazogènes et gaz de gueulard.

Le gaz de gazogènes, gaz de générateurs ou gaz à l'air, contient de l'oxyde de carbone comme élément combustible le plus important, et il est obtenu par gazéification de combustibles solides au moyen de l'air. Il est préparé dans des générateurs particuliers ou *gazogènes*, et on l'obtient aussi comme produit secondaire lors de l'extraction du fer brut au haut fourneau et lors de la fonte de schistes cuprifères dans des fours à coke. Dans le premier cas, on le nomme *gaz de gazogène* et dans le second *gaz de gueulards* ou *gaz de haut fourneau*.

*Gaz de gazogènes.*

Le gaz de gazogènes peut être obtenu par gazéification aussi bien de combustibles carbonisés que de combustibles non carbonisés.

Dans les deux cas, les combustibles à gazéifier sont chargés en une couche de hauteur déterminée dans une enceinte en forme de cuve, le *générateur* ou *gazogène*, dont il sera question plus loin, et brûlés au moyen d'air introduit dans leur masse. Plus la température est élevée, plus il est transformé du carbone du combustible en oxyde de carbone; plus la température est basse, plus il est converti de carbone en acide carbonique. La formation exclusive d'oxyde de carbone a lieu à 1000° environ. Au-dessous de cette température, il se forme des mélanges d'oxyde de carbone et d'acide carbonique, et à une température encore plus basse il ne se produit que de l'acide carbonique.

Le gaz de gazogènes que l'on obtient en gazéifiant des combustibles carbonisés se compose essentiellement d'oxyde de carbone et d'azote, avec de petites quantités d'acide carbonique et d'hydrogène, tandis que le gaz préparé avec des combustibles crus renferme outre ces éléments des *hydrocarbures* et constitue en quelque sorte un mélange de gaz à l'air et de gaz de carbonisation.

La composition du gaz préparé avec des combustibles carbonisés, tel que le préparent les usines à gaz avec du coke de cornue, est à peu près la suivante :

	P. 100 en volume.	P. 100 en poids.
Acide carbonique. . . . .	3,3	4,5
Oxyde de carbone . . . . .	30,0	25,7
Azote . . . . .	66,7	69,8

La chaleur de combustion de 1 kilogramme de ce gaz s'élève à 630 Cal., celle de 1 mètre cube à 920 Cal.

La composition du gaz varie suivant la vivacité de la combustion, c'est-à-dire le degré de la température. Le *gaz préparé avec des combustibles non carbonisés* est (d'après BECKER) composé à peu près comme il suit :

a) *Tirage peu intense*, c'est-à-dire allure froide du gazogène :

	P. 100 en volume.	P. 100 en poids.
Oxyde de carbone . . . . .	23,3	24,0
Acide carbonique . . . . .	5,1	8,3
Hydrogène. . . . .	6,3	0,5
Hydrocarbures. . . . .	2,2	2,2
Azote. . . . .	63,1	65,0

b) *Combustion vive*, c'est-à-dire allure chaude du gazogène;

	P. 100 en volume.	P. 100 en poids.
Oxyde de carbone. . . . .	27,7	29,5
Acide carbonique . . . . .	2,1	3,5
Hydrogène . . . . .	7,8	0,6
Hydrocarbures . . . . .	2,2	2,3
Azote . . . . .	60,2	64,1

Les processus de la gazéification des *combustibles carbonisés* sont plus simples que ceux de la gazéification des combustibles crus, parce que les premiers ayant perdu leurs éléments gazeux, l'élimination de ceux-ci n'est plus à faire.

L'oxygène de l'air atmosphérique, lors de son premier contact avec les combustibles à gazéifier, forme surtout de l'acide carbonique. A une plus grande hauteur de la couche de combustible, où l'oxygène atteint une plus haute température, il se forme également de l'acide carbonique. La chaleur résultant de l'oxydation du carbone est absorbée par ces gaz et ceux-ci, en traversant la couche de combustible solide, la cèdent à ce dernier, qui est ainsi chauffé jusqu'à l'incandescence. En passant à travers la couche de combustible incandescent, l'acide carbonique formé au début est transformé en oxyde de carbone. La hauteur de la colonne de charbon doit être ménagée de façon que tout l'oxygène de l'air introduit y soit consommé. On obtient donc finalement comme produit de la gazéification un mélange d'oxyde de carbone, d'azote, d'un peu d'acide carbonique et d'une petite quantité d'hydrogène. Ce dernier provient généralement de la décomposition par le charbon incandescent de la vapeur d'eau mélangée aux gaz, mais une partie pouvait aussi exister à l'état de gaz dans le combustible.

Comme l'acide carbonique non seulement n'est pas combustible, mais encore occasionne des pertes de chaleur par suite de sa réduction en oxyde de carbone, il faut restreindre autant que possible sa formation en maintenant une haute température dans le gazogène et donnant au combustible contenu dans ce dernier une hauteur convenable, parce que l'expérience a appris qu'une basse température et une colonne de combustible de faible hauteur dans le gazogène favorisent la formation de l'acide carbonique.

Le gaz de gazogène préparé avec des *combustibles carbonisés* n'est que peu employé dans l'extraction des métaux ; on s'en sert au contraire pour le chauffage des cornues dans la distillation sèche de la houille en vue de la fabrication du gaz d'éclairage, et dans ce but on gazéifie le résidu solide, le coke de cornue ou coke de gaz, résultant de la distillation.

Lorsqu'on se sert de *combustibles non carbonisés* pour la production du gaz de gazogène, comme cela a lieu généralement, il doit d'abord subir une *carbonisation* et ce n'est qu'après celle-ci que doit se produire la *gazéification du carbone* de la façon indiquée précédemment.

La carbonisation se passe de la même façon que la carbonisation du bois ou de la houille précédemment décrite. Elle est produite dans la cuve du gazogène par les gaz montant dans celle-ci, c'est-à-dire l'azote, l'oxyde de carbone et l'acide carbonique, qui expulsent du combustible non carbonisé des hydrocarbures, de l'hydrogène et de l'eau, tandis qu'il reste des combustibles carbonisés (charbon de bois, de tourbe, coke). Les gaz expulsés se mêlent avec les gaz chauffants et forment avec eux le gaz de gazogène. Le combustible carbonisé tombe dans le gazogène et y est gazéifié comme il a été expliqué à propos des combustibles carbonisés. Les gaz ainsi produits chauffent à la température de décomposition les combustibles bruts qui se trouvent dans la partie supérieure du gazogène.



La carbonisation par les flammes perdues de fours à réverbère n'a lieu que dans un seul gazogène. Dans ce dispositif, les gaz expulsés se mélangent avec les gaz du combustible carbonisé gazéifié dans des espaces particuliers et forment le gaz de gazogène.

La composition du gaz préparé avec des combustibles non carbonisés a été indiquée plus haut (p. 239).

La carbonisation qui précède la gazéification entraîne des pertes de chaleur, ce qui, lorsque la carbonisation et la gazéification ont lieu dans la même enceinte, entrave la réduction de l'acide carbonique en oxyde de carbone. Afin d'éviter cet inconvénient, il faut donner au gazogène une allure aussi chaude que possible, parce que sans cela l'acide carbonique augmente dans le gaz de gazogène et l'oxyde de carbone diminue, ce que montrent les analyses données précédemment (p. 239).

Si la *vapeur d'eau* contenue dans le gaz de gazogène doit en être séparée, il faut refroidir le gaz à la température de l'air, mais il perd alors les quantités de chaleur relativement grandes qu'il a absorbées dans le gazogène. D'après cela, la séparation de la vapeur d'eau des gaz de gazogènes n'est avantageuse que si le gain de chaleur ainsi obtenu est plus grand que la perte de chaleur résultant du refroidissement des gaz. Cela n'arrive que lorsqu'il s'agit de combustibles très riches en eau, c'est-à-dire de la condensation de très grandes quantités de vapeur d'eau. Indépendamment de la vapeur d'eau, du *goudron* est aussi séparé des gaz, ce qui se produit lorsqu'il s'agit de réchauffer des gaz riches en hydrocarbures lourds dans les appareils dits récupérateurs (consistant en un système de petits canaux avec parois chauffées au rouge). Ces hydrocarbures déposent du carbone dans les canaux chauffés des récupérateurs et finissent ainsi par obstruer ces derniers. On remédie à cet inconvénient en séparant des gaz les hydrocarbures lourds sous forme de goudron. La séparation de ce dernier donne lieu au même inconvénient que la séparation de l'eau du gaz.

On admet que la chaleur de combustion du gaz de gazogène de combustibles carbonisés est égale à 1 000-1 400 Cal., suivant la vivacité du tirage.

### *Dispositifs pour la préparation du gaz de gazogènes.*

On nomme **générateurs** ou **gazogènes** les dispositifs employés pour la préparation du gaz de gazogènes. A l'exception d'un seul, ces dispositifs représentent une enceinte en forme de cuve, dans laquelle ont lieu la carbonisation et la gazéification du combustible. La seule exception est formée par le gazogène de GRÖBE-LÜRMANN, qui se compose de deux enceintes, l'une pour la carbonisation, l'autre pour la gazéification. Ici la gazéification n'a pas lieu, comme dans les autres gazogènes, par les gaz chauds formés lors de la combustion des combustibles à gazéifier, mais par les gaz perdus de fours étrangers (fours à réverbère), qui sont amenés autour de l'enceinte où doit se produire la carbonisation.

Les gazogènes (à l'exception de celui de GRÖBE-LÜRMANN) consistent en des enceintes en maçonnerie avec grand axe vertical et parois latérales verticales ou inclinées, ou partie verticales, partie inclinées.

Ils sont munis des dispositifs nécessaires pour l'introduction des combustibles, pour l'extraction de la cendre de ces derniers, pour l'introduction de l'air nécessaire à la gazéification, pour éconduire les gaz ainsi que pour l'observation de la marche de l'opération et le travail des masses contenues dans l'appareil. Le tirage nécessaire est produit à l'aide de cheminées ou au moyen de vent soufflé. Dans les gazogènes à tirage naturel, c'est-à-dire par cheminées, la couche de houille s'élève à 1 mètre,

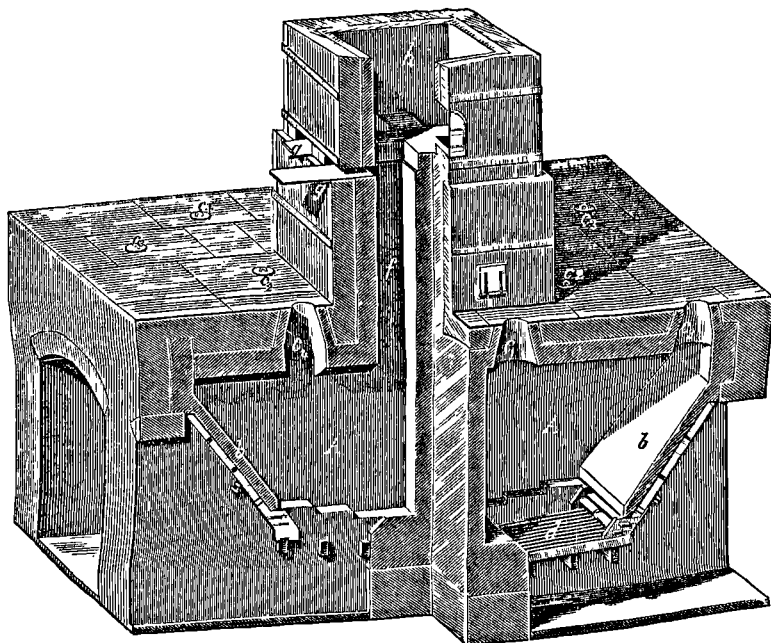


Fig. 113. — Gazogène de Siemens.

tandis que lorsqu'on emploie de l'air soufflé elle va jusqu'à 2 mètres et au-dessus.

Dans les générateurs à vent soufflé, l'air est introduit au moyen de ventilateurs sous une pression de 80 à 100 millimètres d'eau. C'est pour cela qu'ils donnent un rendement beaucoup plus grand et qu'ils fournissent, par suite de la haute température qui y règne, un gaz beaucoup plus riche en oxyde de carbone que celui des gazogènes à tirage naturel. En outre, comme le gaz se trouve sous pression dans le lieu où il est brûlé, il ne peut pas être dilué par aspiration d'air.

Les gazogènes soufflés se sont beaucoup répandus depuis quelque temps, surtout dans la métallurgie du fer et ils finiront probablement par remplacer complètement les gazogènes à tirage naturel, généralement employés dans cette industrie, jusqu'à il n'y a encore que peu de temps.

Les gazogènes sont réunis par groupes et ils sont alors établis à une distance plus ou moins grande de l'enceinte où les gaz sont brûlés, ou bien

ils communiquent immédiatement avec le four dans lequel a lieu la combustion des gaz.

Lorsque le goudron et la vapeur d'eau ne doivent pas être condensés, comme cela avait lieu dans l'ancien gazogène de SIEMENS, on établit les gazogènes, afin d'utiliser la chaleur que les gaz ont absorbée dans ces derniers, aussi près que possible des fours, dans lesquels la combustion des gaz doit être effectuée. (Dans les nouveaux gazogènes, on décompose le goudron, en établissant la prise des gaz à un niveau plus bas.)

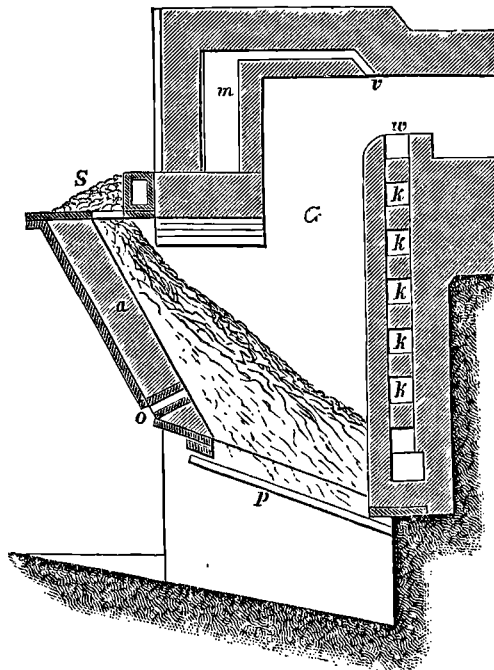


Fig. 114. — Gazogène de Boëtius.

Parmi les gazogènes à tirage naturel réunis en un seul massif, nous devons mentionner le **gazogène de Siemens**, dont l'usage était autrefois très répandu, mais qui actuellement est presque partout remplacé par les gazogènes soufflés. Il se compose de quatre gazogènes groupés dans un même massif.

Chacun de ces gazogènes représente, par suite de la forte inclinaison de sa paroi antérieure, une cuve A (fig. 113) rétrécie inférieurement. La paroi antérieure *b* se termine inférieurement par une courte grille à gradins *e*, à laquelle se rattache une grille plane *d*, établie horizontalement. Le gazogène est couvert par une voûte, dans laquelle se trouvent quatre ouvertures  $C^1$ ,  $C^2$ ,  $C^3$  et  $C^4$  pour le chargement du combustible. Par ces ouvertures, on peut aussi introduire dans les gazogènes des instruments, à l'aide desquels on détruit les obstructions qui peuvent se produire, ce

qui arrive fréquemment avec les appareils avec grille à gradins. Il est des gazogènes qui sont pourvus pour cet objet d'ouvertures spéciales. Les combustibles sont carbonisés sur la paroi antérieure inclinée *b* du gazogène, tandis qu'ils sont gazéifiés dans la partie inférieure de ce dernier. Les gaz passent par le canal *f* et le canal *h*, communs aux quatre gazogènes, dans la conduite principale en tôle, où se précipitent le goudron et l'eau.

La communication des différents canaux avec la conduite principale peut être interrompue au moyen des registres *g*. Grâce au groupement de plusieurs gazogènes et au chargement alternatif de ceux-ci, on obtient dans la conduite principale des gaz de composition constante.

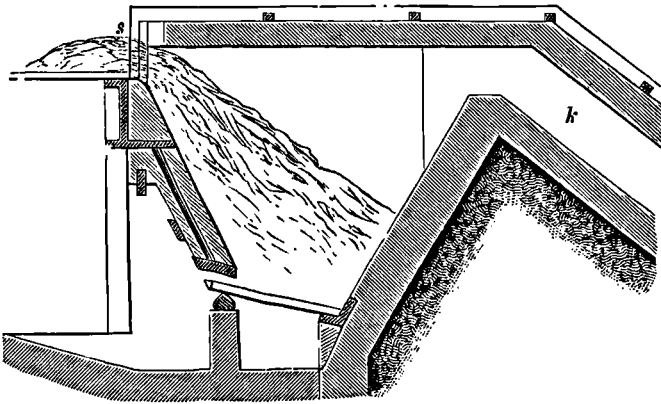


Fig. 115. — Gazogène de Bicheroux.

Avec ce gazogène, on a l'inconvénient de perdre la chaleur entraînée par le gaz, les vapeurs aqueuses et les vapeurs de goudron.

Parmi les gazogènes à tirage naturel étroitement reliés avec le laboratoire des fours, nous décrivons ceux de Boëtius et de Bicheroux.

Le gazogène de Boëtius (fig. 114) possède une paroi antérieure inclinée *a*, sur laquelle le combustible descend dans la partie inférieure de l'appareil, fermée par une grille plane. Le combustible est chargé par la fente *S*, qui se trouve entre l'arête supérieure de la paroi inclinée et la paroi postérieure du four, dans lequel a lieu la combustion des gaz. Cette fente est fermée par le combustible lui-même.

Dans la partie inférieure de la paroi inclinée, sont ménagées des ouvertures *O*, qui servent pour introduire de l'air dans le gazogène, ainsi que pour en éliminer les masses agglomérées.

Les gaz passent dans le four par le canal *G*.

L'air nécessaire pour leur combustion est réchauffé dans les carneaux *k* et *m*. L'air réchauffé dans les carneaux *k*, *k* vient se mêler avec les gaz en passant par la fente *w*; celui qui s'est réchauffé en *m* arrive par la fente *v*.

Dans le gazogène de Bicheroux (fig. 115), les parois antérieure et postérieure sont toutes les deux inclinées, de sorte qu'il offre une grande capacité.

A cause de cette disposition, le gazogène n'est pas accolé directement contre le four, mais il est mis en communication avec ce dernier par un

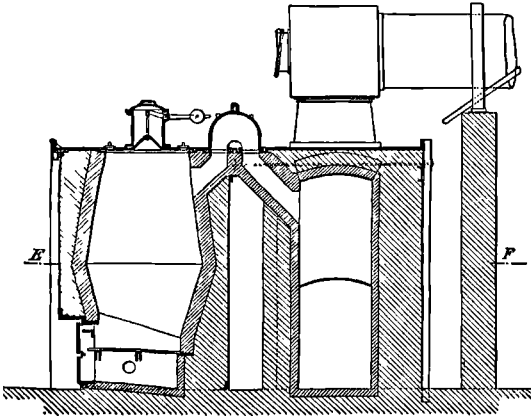


Fig. 116.

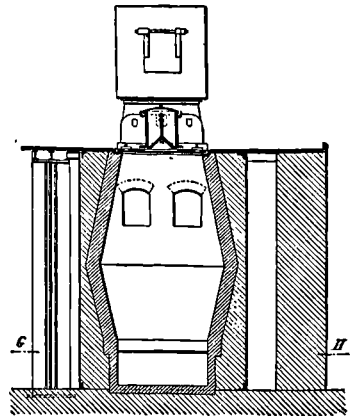


Fig. 117.

Fig. 116. — Gazogène soufflé; coupe verticale suivant AB (fig. 118).

Fig. 117. — Gazogène soufflé; coupe verticale suivant CD (fig. 119).

canal *k*. L'air nécessaire pour la combustion des gaz est réchauffé dans des canaux ménagés dans la maçonnerie.

Le chargement du combustible a lieu, comme dans le dispositif de Boë-

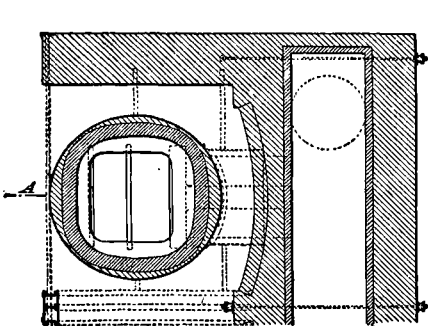


Fig. 118. — Gazogène soufflé; coupe horizontale suivant EF (fig. 116).

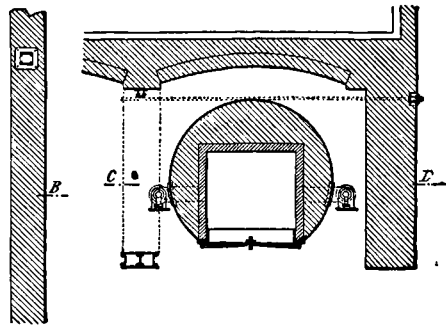


Fig. 119. — Gazogène soufflé; coupe horizontale suivant GH (fig. 117).

tius, par la fente *s*, qui se trouve entre l'arête supérieure de la paroi antérieure et la voûte.

Les figures 116 à 119 représentent un *gazogène soufflé*, très employé depuis quelque temps pour le chauffage des fours MARTIN-SIEMENS<sup>1</sup>.

La cuve représente une chambre de la forme d'une pyramide double quadrangulaire, tronquée supérieurement et inférieurement. Elle est

<sup>1</sup> DÜRRE, *Vorlesungen über allgemeinen Hüttenkunde*, p. 233.

pourvue d'un revêtement réfractaire fixé dans une maçonnerie ordinaire. Celle-ci est entourée d'une enveloppe en tôle. Une série de fours sont placés l'un à côté de l'autre dans une niche en maçonnerie. Derrière celle-ci se trouve un canal, qui sert en même temps de chambre à poussières et de canal collecteur pour les gaz de tous les gazogènes. A sa partie inférieure, la cuve est fermée par une grille inclinée. Le cendrier qui se trouve au-dessous de cette dernière est fermé par des portes en métal. Celles-ci sont traversées par les tubes adducteurs de l'air débouchant au-dessous de la grille. (Ces tubes peuvent aussi servir pour introduire de la vapeur d'eau ou en même temps de l'air et de la vapeur d'eau.) Le com-

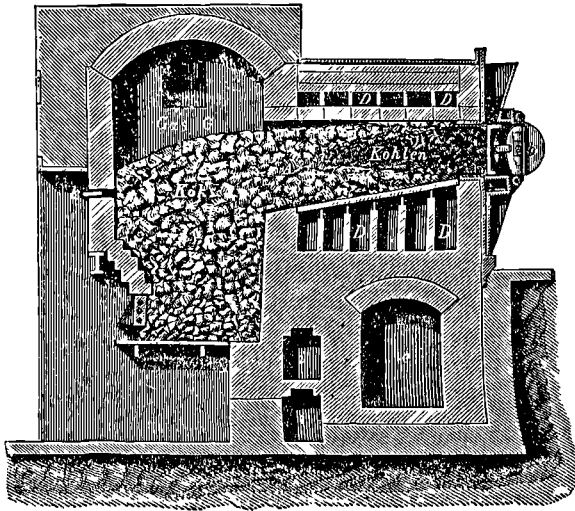


Fig. 120. — Gazogène de Gröbe-Lürmann.

bustible arrive dans la cuve par les dispositifs de chargement visibles dans les figures 116 et 117.

Par deux ouvertures ménagées dans la partie supérieure de la cuve, le gaz pénètre dans un carneau d'abord ascendant et ensuite descendant, d'où il passe dans le canal collecteur. De ce dernier, il se rend, par la conduite principale verticale et le coude de forme cubique adapté sur celle-ci, dans un tuyau horizontal, qui conduit le gaz où il doit être employé. Le coude est muni d'une soupape de sûreté.

Le gazogène de TAYLOR sera décrit à propos des gazogènes destinés à la production du gaz mixte.

Le seul gazogène avec *carbonisation et gazéification séparées*, le gazogène de GRÖBE-LÜRMAN, est représenté par les figures 120 et 121.

Il est établi tout à côté du four à chauffer. Les gaz brûlés se dégagent de ce dernier circulent autour de la partie du gazogène où a lieu la carbonisation et carbonisent la houille qui s'y trouve.

Ce dispositif comprend, comme on l'a déjà dit, deux compartiments ou chambres. La chambre de carbonisation A est en forme de cornue et va

en s'élargissant vers la chambre de gazéification B ; cette dernière est commune à plusieurs chambres de carbonisation, avec lesquelles elle communique directement. Comme dans le four à coke de LÜRMANN, la houille destinée à la production du gaz est introduite de façon continue dans la chambre de carbonisation, au moyen d'un dispositif de chargement mécanique *b*, et sa carbonisation achevée, elle arrive dans la chambre de gazéification B, qui est fermée inférieurement par une grille. L'air nécessaire pour la gazéification pénètre dans la chambre où celle-ci a lieu, par les intervalles entre les barreaux de la grille. Les gaz dégagés dans la chambre de carbonisation passent de celle-ci dans la chambre de gazéification, se mêlent avec les gaz formés dans cette dernière et se rendent

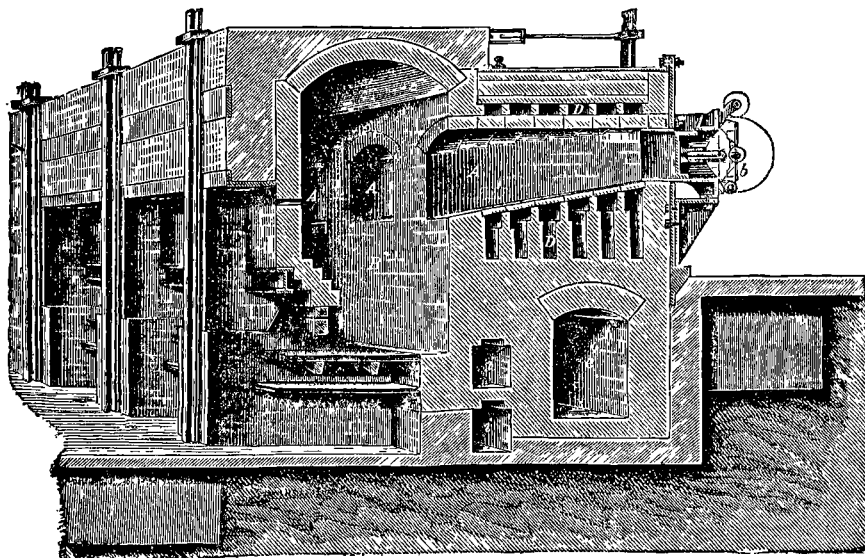


Fig. 121. — Gazogène Gröbe-Lürmann : vue extérieure et coupe transversale.

ensuite avec eux, par une ouverture ménagée près de la voûte de la chambre de gazéification, dans le four, dont les flammes perdues chauffent la chambre A.

D, D sont des carnaux de chauffage entourant la chambre de carbonisation ; *e* est un canal pour recevoir les gaz, qui, lorsque le dégagement gazeux est très intense, ne peuvent pas être entièrement absorbés par les carnaux D ; *i, i* sont des carnaux pour le réchauffage de l'air, à l'aide duquel les gaz doivent être brûlés.

Ces derniers s'échappent par une ouverture qui se trouve à l'extrémité de la chambre de gazéification.

La largeur du gazogène s'élève à 3,65 mètres, tandis que sa longueur dépend du nombre des chambres de carbonisation. La longueur est égale pour deux des chambres à 3,78 mètres, pour chaque chambre suivante à 1,75 mètre.

LÜRMANN a aussi indiqué des gazogènes doubles de cette espèce. Dans

ces dispositifs, il y a de chaque côté des chambres de gazéification des chambres de carbonisation.

L'usage du gazogène de GRÖBE-LÜRMANN n'est pas très répandu.

### Emploi des gaz de gazogènes.

Les gaz de gazogènes sont très employés lorsqu'il s'agit de produire de très hautes températures ou de longues flammes; en outre, pour le *chauffage des fours à réverbère*, lorsque les corps à chauffer ne doivent pas être salis par la poussière ou la cendre.

### Gaz de gueulard.

On comprend sous le nom de **gaz de gueulard** le mélange gazeux qui s'échappe par l'ouverture supérieure, le *gueulard*, des fours à cuve. Dans quelques procédés métallurgiques, surtout dans la préparation de la fonte par réduction des oxydes et des silicates du fer au moyen de l'oxyde de carbone et du carbone, ce gaz offre une teneur en oxyde de carbone si élevée qu'il trouve emploi comme combustible. Depuis quelque temps, on s'en sert aussi pour actionner des moteurs à gaz.

D'après LÜRMANN<sup>4</sup>, le gaz de gueulard des hauts fourneaux à fer, offre en moyenne la composition suivante :

Oxyde de carbone. . . . .	26,0	p. 100	en volume.
Acide carbonique. . . . .	9,0	—	—
Hydrogène . . . . .	3,6	—	—
Azote . . . . .	51,3	—	—
Vapeur d'eau . . . . .	10,0	—	—

La chaleur de combustion (effet calorifique absolu) est égale à 879,6 Cal., la température de combustion à 1 650°.

Le gaz de gueulard est plus pauvre en azote que le gaz de gazogène, parce que, dans le fourneau à cuve, une partie du carbone n'est pas oxydée par l'oxygène de l'air atmosphérique, mais par celui du sesquioxyde de fer.

Le gaz s'échappant du gueulard contient en outre une série de corps pulvérulents. Pour le capter, on se sert d'appareils particuliers, dits **prises de gaz**, qui seront décrits à propos des dispositifs en usage pour l'extraction des métaux. Des prises de gaz, celui-ci est conduit au moyen de tuyaux en fer doux dans des appareils, où il est dépouillé des particules pulvérulentes qu'il tient en suspension (*collecteurs de poussières*). Dans ces appareils,

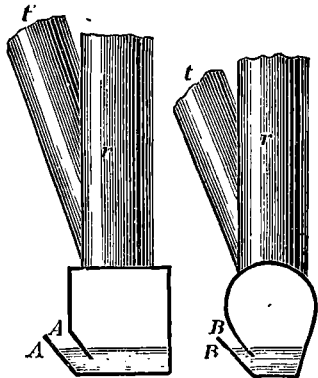


Fig. 122 et 123. — Collecteurs de poussières.

il se précipite aussi la vapeur d'eau non

<sup>4</sup> *Stahl und Eisen*, 1898, p. 245, Anlage III.



encore condensée. Les collecteurs de poussières sont ordinairement pourvus d'une fermeture hydraulique, qui empêche la communication avec l'air extérieur.

Des collecteurs de poussières ainsi disposés sont représentés par les figures 122 et 123. Ils peuvent être vidés par les fentes A ou B, sans qu'il

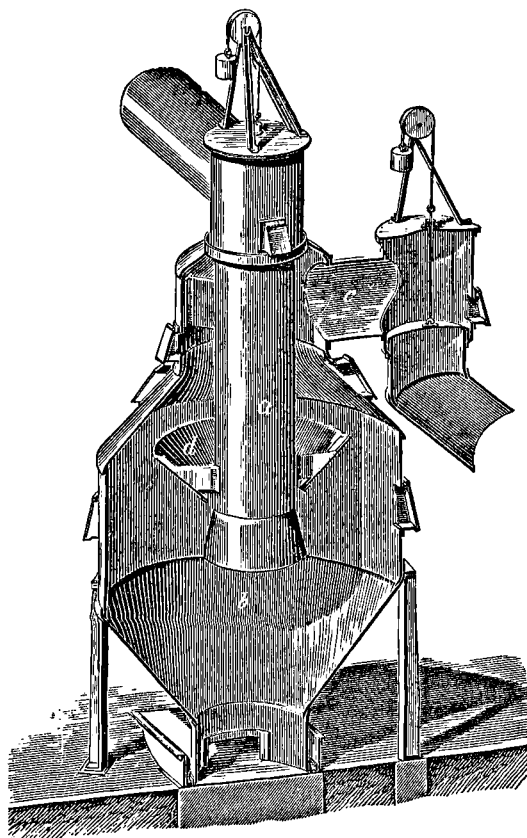


Fig. 124. — Autre disposition de collecteur de poussières.

soit nécessaire d'arrêter le courant gazeux. Celui-ci entre par les tubes *r, r* et sort par les tubes *t, t*.

Une autre forme de collecteur de poussières est mise en évidence par la figure 124. Le courant de gaz est amené par le tube *a* dans la chambre *b*, d'où il remonte pour pénétrer dans le tube *c*. La partie inférieure cylindrique de l'appareil plonge dans de l'eau. Le dépôt qui s'y est formé est évacué par une ouverture ménagée à cet effet. Pour précipiter les poussières, on emploie de l'eau s'échappant de pommes d'arrosoir ou d'appareils à pulvérisation.

Des collecteurs de poussières, les gaz sont conduits également à l'aide de tubes en fer doux dans l'endroit où ils doivent être utilisés. Afin d'atté-

nuer les dangers résultant de l'explosion des gaz, on adapte dans la conduite des clapets placés obliquement, mobiles sur des charnières et s'ouvrant de l'intérieur vers l'extérieur; ces clapets, dits soupapes de sûreté, s'ouvrent *spontanément*, lorsque la pression des gaz vient à s'élever. Une pareille soupape de sûreté est représentée dans la figure 125. On trouvera dans les traités de la métallurgie du fer, notamment dans celui de LEDEBUR<sup>1</sup>, la description détaillée des dispositifs pour le captage, l'élimination des poussières et l'abduction des gaz des hauts fourneaux.

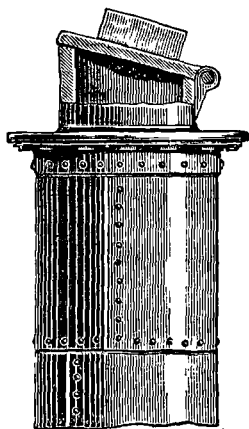


Fig. 125. — Conduite de gaz avec soupape de sûreté.

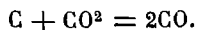
sert aussi de ces gaz pour actionner des moteurs à gaz.

#### *Emploi des gaz de gueulard.*

On emploie les gaz de gueulard pour le chauffage du vent soufflé nécessaire pour les hauts fourneaux, pour le chauffage de chaudières à vapeur, surtout de la chaudière produisant la vapeur destinée aux machines qui fournissent le vent soufflé dont il vient d'être question; on se

#### **Gazéification du carbone par l'acide carbonique.**

A la température de 1 000°, l'acide carbonique gazéifie le carbone d'après l'équation :



Mais de la chaleur est nécessaire pour cela, la décomposition de l'acide carbonique exigeant plus de chaleur qu'il n'en est dégagé par l'oxydation du carbone en oxyde de carbone. La décomposition de l'acide carbonique en carbone et oxygène, rapportée au poids atomique, exige 12 (poids atomique du carbone)  $\times$  8 080 Cal. = 96 960 Cal., tandis qu'il faut pour l'oxydation du carbone en oxyde de carbone  $2 \times 12 \times 2387 = 57\,288$  Cal. Par conséquent, lors de la gazéification de 12 kilogrammes de carbone par l'acide carbonique, il est consommé 96 960 — 57 288 Cal. = 39 672 Cal. Mais, dans la pratique, il serait trop coûteux d'employer pour la gazéification de l'acide carbonique pur. On aurait alors recours aux gaz des foyers ou aux gaz de gueulard. A ce sujet, il faut considérer que dans la chambre de gazéification doit régner la température de 1 000° nécessaire pour la formation d'oxyde de carbone et que la chaleur nécessaire pour la réaction, si elle n'est pas apportée par les gaz du foyer, doit être produite par combustion de carbone avec de l'air. En outre, les gaz contenant de l'acide carbonique sont mélangés

<sup>1</sup> *Manuel de la Métallurgie du fer*, 2<sup>e</sup> édition française trad. par B. DE LANGLADE t. I, p. 523, Paris, CH. BÉLANGER, éditeur.

avec de grandes quantités d'azote, dont la circulation entraîne de grandes pertes de chaleur. Avec cela, la composition du gaz obtenu est la même que celle du gaz à l'air.

Bien que l'on emploie le carbone des gaz chargés d'acide carbonique et qu'on réalise ainsi une économie apparente de combustible, l'introduction de gaz de combustion, dans les gazogènes ne peut avoir aucun avantage sur la préparation du gaz à l'air.

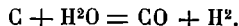
Le procédé a été appliqué dans la pratique par FR. SIEMENS<sup>1</sup>, qui cependant n'a pas trouvé d'imitateurs.

On a proposé à plusieurs reprises de faire passer les gaz des hauts fourneaux à travers des gazogènes, afin d'employer leur acide carbonique pour la gazéification du carbone et d'obtenir ainsi un gaz riche en oxyde en carbone<sup>2</sup>. Les gaz des hauts fourneaux ont sur les gaz de combustion l'avantage d'être plus pauvres en azote que ces derniers et de contenir déjà une grande quantité d'oxyde de carbone.

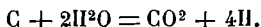
La puissance calorifique du produit obtenu avec ces gaz est par suite plus grande que celle du gaz préparé avec des gaz de combustion. Le procédé proposé n'a pas cependant été introduit dans la pratique, parce que le gaz de gueulard constitue déjà par lui-même un combustible de valeur, dont les hauts fourneaux à fer fournissent des masses considérables.

#### Gaz à l'eau.

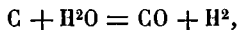
Le gaz à l'eau est un mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène, que l'on obtient en faisant passer de la vapeur d'eau sur des charbons incandescents à une température de 1 000° environ, et qui se forme conformément à l'équation :



A une plus basse température, il se produit des mélanges d'acide carbonique, d'oxyde de carbone et d'hydrogène. L'acide carbonique se forme d'après l'équation :



La quantité de chaleur consommée pour la décomposition de la vapeur d'eau est beaucoup plus grande que la quantité de chaleur dégagée lors de l'oxydation du carbone en oxyde de carbone (et acide carbonique). Si l'on admet que le carbone n'est brûlé qu'en oxyde de carbone (ce qui en réalité n'est pas tout à fait exact), l'équation :



peut être regardée comme l'expression de la vérité. Pour la décomposition de la vapeur d'eau, rapportée au poids atomique,  $2 \times 29140$

<sup>1</sup> Brevet anglais n° 4644, 1889 ; *Fischer's Jahresber.*, 1890, p. 189 ; 1897, p. 83 ; FISCHER. *Manuel pour l'essai des combustibles et le contrôle des appareils de chauffage*, édit. française, par L. GAUTIER, p. 134.

<sup>2</sup> *Fischer's Jahresber.*, 1884, p. 1300.

= 58 280 Cal. sont nécessaires, tandis que par la combustion du carbone (rapportée au poids atomique 12 de ce dernier) en oxyde de carbone, il est dégagé  $12 \times 2\,387 = 28\,644$  Cal. D'après l'équation précédente, un apport de  $58\,280 - 28\,644 = 29\,636$  Cal. est donc nécessaire.

On produit la chaleur à apporter en brûlant, au moyen d'air, une partie du carbone à gazéifier, c'est-à-dire en produisant du gaz de gazogène. (Dans l'un des gazogènes de construction récente, on brûle le carbone en acide carbonique.) Comme combustible à gazéifier, on emploie de préférence le coke ou l'antracite, parce que les houilles s'agglutinent et que, par suite de cela, elles ne descendent pas régulièrement dans la cuve et empêchent la vapeur d'eau de se disséminer uniformément dans leur masse. Pour produire 1 mètre cube de gaz à l'eau, il faut préparer en même temps 3-5 mètres cubes de gaz gazogène.

En admettant que tout le carbone s'est transformé en oxyde de carbone, le gaz à l'eau doit offrir la composition suivante :

Oxyde de carbone . . . . .	93,30	p. 100 en poids.
Hydrogène. . . . .	6,67	— —

Ce gaz fournirait en brûlant 4 220 Cal.

Mais, en réalité, on n'obtient pas un gaz avec cette composition idéale, parce qu'il n'est pas possible de préparer un produit exempt d'azote et d'acide carbonique<sup>4</sup>.

Le gaz à l'eau préparé en grand renferme en moyenne :

Acide carbonique. . . . .	9,4	p. 100 en poids.
Oxyde de carbone . . . . .	76,9	— —
Méthane. . . . .	0,5	— —
Hydrogène. . . . .	6,1	— —
Azote . . . . .	7,1	— —

La chaleur de combustion est égale à 3 715 Cal.

La composition en volume est la suivante :

Acide carbonique . . . . .	3,4	p. 100 en volume.
Oxyde de carbone . . . . .	43,6	— —
Méthane. . . . .	0,5	— —
Hydrogène. . . . .	48,5	— —
Azote . . . . .	4,0	— —

La chaleur de combustion de 1 mètre cube s'élève à 2 650 Cal.

Pour préparer le gaz en grand, on procède de la manière suivante : Dans une colonne de coke incandescent contenue dans un gazogène en forme de cuve, on souffle d'abord de l'air pendant un certain temps, de façon à donner à la colonne de coke la température nécessaire (1 000°) et ensuite pendant un temps court on fait passer de la vapeur d'eau à travers le combustible, après quoi on souffle de nouveau de l'air et ainsi de suite. Pendant le soufflage de l'air, on obtient du gaz de gazogène, qui

<sup>4</sup> BECKERT, *loc. cit.*, p. 96.



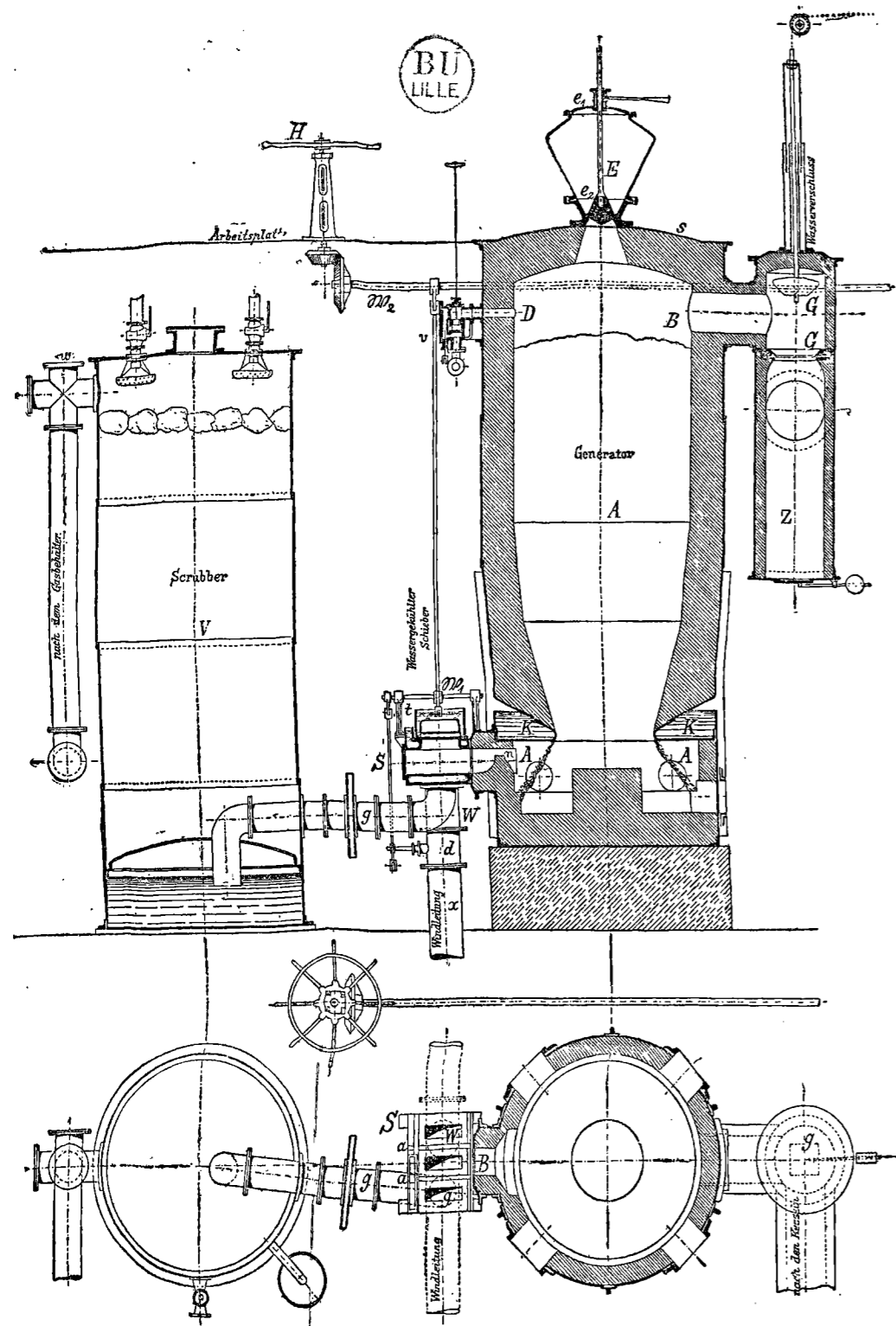


Fig. 126 et 127. — Coupe verticale et plan de l'appareil d'Essen et de Wittkowitz.

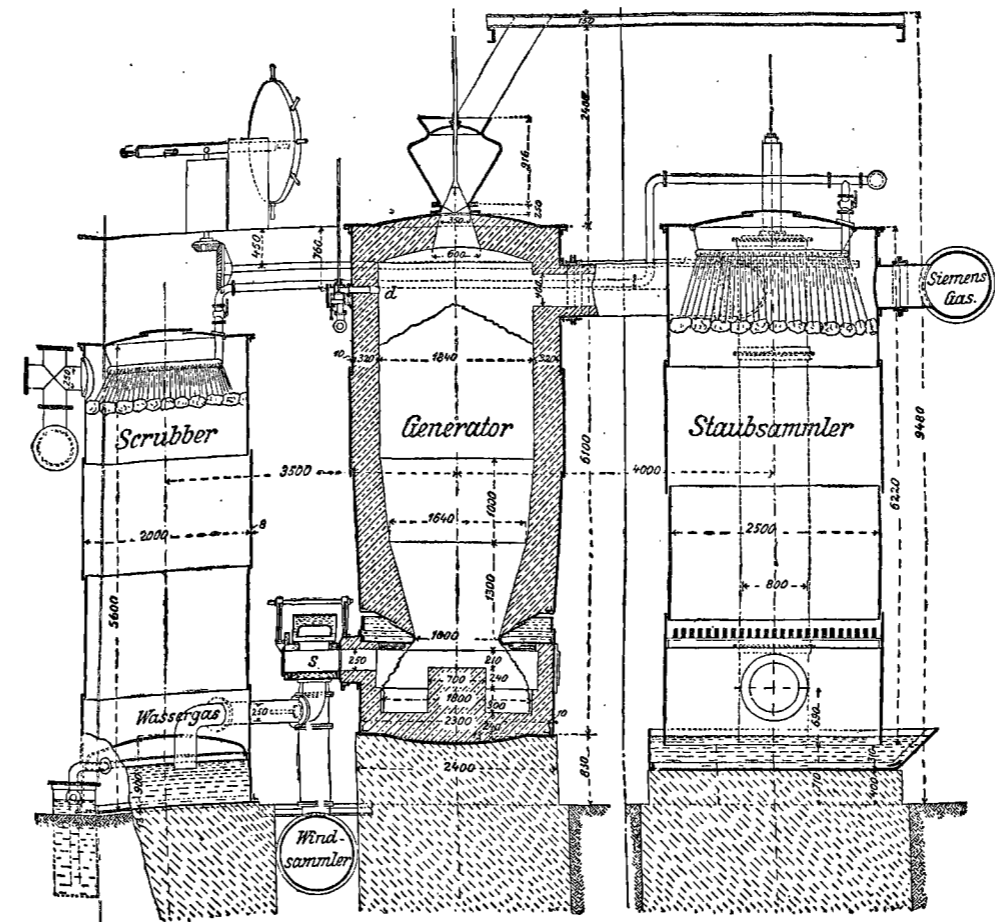


Fig. 128. — Appareil à deux gazogènes; coupes verticales AB-CD-EF (fig. 129).

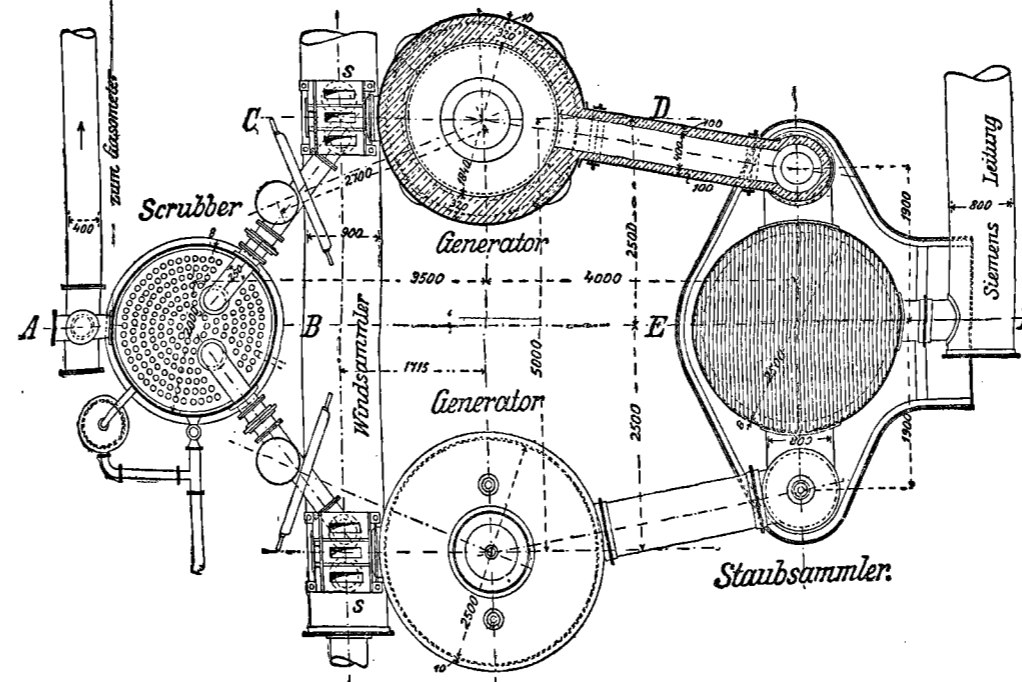


Fig. 129. — Appareil à deux gazogènes; plan.

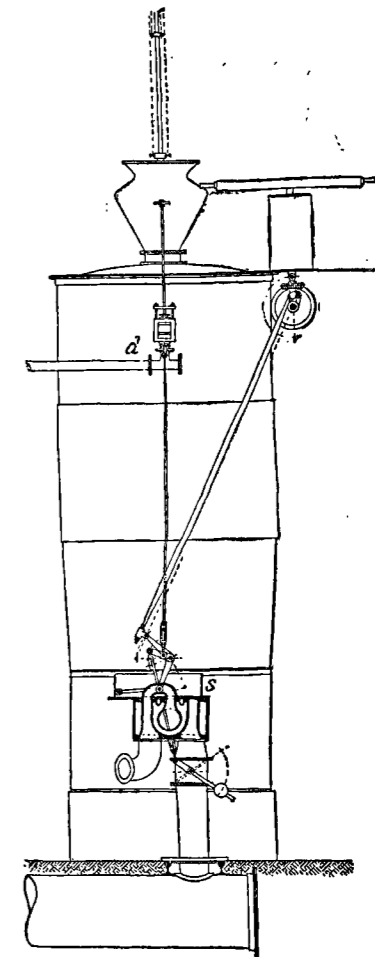


Fig. 130. — Vue extérieure d'un gazogène avec le dispositif pour l'introduction de l'air et de la vapeur, et la sortie du gaz à l'eau.

- Arbeitsplatte = Plancher pour les ouvriers.
- Generator = Gazogène.
- Nach dem Gasbehälter = Vers le gazomètre.
- Nach den Kesseln = Vers les chaudières.
- Siemens Gas = Gaz de gazogène.
- Siemens Leitung = Conduite du gaz de gazogène.
- Staubsammler = Collecteur de poussières.
- Wassergas = Gaz à l'eau.
- Wassergekühlter Schieber = Tiroir refroidi par de l'eau.
- Wasserverschluss = Fermeture hydraulique.
- Windleitung = Conduite de vent.
- Windsammler = Collecteur de vent.
- Zum Gazometer = Au gazomètre.

Fig. 126 à 130. — Appareils pour la préparation du gaz à l'eau.

avec les anciens dispositifs était brûlé dans le gazogène et employé au chauffage des récupérateurs, mais qui, avec les nouveaux appareils, est recueilli à part. On s'en sert pour le chauffage. Dans l'un des gazogènes les plus récents, on brûle le carbone en acide carbonique, qu'on laisse se dégager dans l'atmosphère. Lors de l'introduction de la vapeur d'eau, on obtient du gaz à l'eau, qui est également recueilli à part. Lorsqu'on emploie plusieurs gazogènes, on peut obtenir un courant uniforme aussi bien de gaz à l'eau que de gaz de gazogène.

Le gaz à l'eau ne sert pas seulement comme combustible, il est aussi employé, après avoir été carburé, comme gaz d'éclairage.

La *disposition d'un gazogène* est mise en évidence par les figures 126 à 130 (voy. la planche ci-jointe).

A est le gazogène, K un anneau refroidi par de l'eau. Sur ce dernier se dépose la scorie, qui peut être enlevée et facilement détachée à l'état solidifié. Elle est ensuite retirée par quatre portes. S'il n'y a pas d'anneau réfrigérant, la scorie est éliminée à l'état liquide; le travail est alors continu, mais alors les réparations sont plus fréquentes que lorsqu'on emploie un réfrigérant annulaire. On est obligé, dans le cas de la présence de ce dernier, d'arrêter le travail des gazogènes, lorsqu'on en retire la scorie. L'air est introduit par le tuyau  $\alpha$  et il passe, par  $n$ , au-dessous de l'anneau réfrigérant, dans le gazogène. Le gaz de gazogène formé par le passage de l'air à travers la colonne de charbon incandescent se rend, par B, de la partie inférieure du gazogène dans le tuyau Z, qui peut être fermé par la soupape G et qui conduit le gaz dans le lieu où il doit être employé. La vapeur d'eau pénètre par le tube D dans la partie supérieure du gazogène et traverse la colonne de coke de haut en bas. Le gaz à l'eau ainsi formé passe de la partie inférieure du gazogène, par  $n$ , dans le tuyau  $g$  et de celui-ci dans le scrubber V. Comme le tube  $g$  plonge dans de l'eau, le gaz doit d'abord surmonter une colonne d'eau d'une certaine hauteur, avant qu'il puisse monter dans le scrubber. Dans ce dernier, il est lavé au moyen d'eau tombant en pluie et il se rend ensuite par le tuyau  $w$  dans le gazomètre.

Le charbon est introduit dans le gazogène au moyen de l'appareil de chargement E. L'entrée de la vapeur est réglée à l'aide du tiroir  $v$ . Le conduit amenant l'air est fermé par un tiroir refroidi avec de l'eau, dès que le conduit pour la sortie du gaz à l'eau est ouvert, et inversement. Dans le conduit d'air se trouve un registre  $d$ , qui est fermé dès que le tiroir S ouvre le conduit abducteur du gaz à l'eau. Cette double fermeture de l'entrée de l'air a pour but d'éviter les explosions par contact de l'air avec le gaz chaud.

Sur le tiroir S sont adaptés deux supports, sur lesquels repose l'arbre  $W^1$ , qui, de son côté, est relié à l'arbre régulateur  $W^2$ . Au moyen du levier que porte l'arbre  $W^1$ , on peut ouvrir et fermer le registre  $d$ , le tiroir de l'entrée de la vapeur  $v$  et la partie supérieure du tiroir S.

La soupape G du gazogène est ouverte ou fermée au moyen d'un levier adapté sur l'arbre  $W^2$ .

On peut faire tourner l'arbre  $W^2$  à l'aide de la roue à main H. Par la rotation de celui-ci dans une direction, le canal d'introduction de l'air dans le gazogène et le registre qui se trouve dans la conduite de l'air sont

fermés, le canal de sortie du gaz à l'eau et le tiroir d'introduction de la vapeur sont ouverts, tandis que par la rotation dans une autre direction, le canal de sortie du gaz à l'eau et le tiroir d'introduction de la vapeur sont fermés, le canal d'introduction de l'air dans le gazogène, le registre qui se trouve dans la conduite de l'air et la soupape du tube à gaz de gazogène sont ouverts. En tournant la roue H, on peut, d'après cela, faire produire au gazogène aussi bien du gaz de gazogène que du gaz à l'eau. A Essen (usines de SCHULZ et KNAUDT), on fait alternativement du gaz de gazogène pendant onze minutes et du gaz à l'eau pendant quatre minutes. Le gaz à l'eau est employé à Essen pour le soudage de tuyaux en tôle ondulée.

Pour les grands établissements, on combine deux gazogènes avec une tour de lavage pour le gaz à l'eau (scrubber) et une seconde tour de lavage pour le gaz de gazogène (collecteur de poussières). Dans le dernier cas, on perd, il est vrai, la chaleur propre du gaz de gazogène, de sorte que le procédé ne semble avantageux que si le combustible est à un prix peu élevé. Un pareil dispositif est représenté par les figures 128 à 130 (voy. la planche) et n'a pas besoin d'explications, après ce qui vient d'être dit.

A Wittkowitz (près Mährisch-Ostrau), les gazogènes ont chacun 10 mètres cubes de capacité, les scrubbers 18,5 mètres cubes.

Lorsqu'on fait du gaz de générateur, l'air nécessaire est fourni par des ventilateurs et il a une pression de 800 millimètres d'eau. Ce gaz est amené par une conduite de 800 millimètres de diamètre à 4 chaudières du type Cornouailles.

Le gazomètre pour le gaz à l'eau a 1 200 mètres cubes de capacité.

Le gaz à l'eau était autrefois employé à Wittkowitz pour le chauffage de fours MARTIN-SIEMENS. Mais ce mode d'emploi a été abandonné. Maintenant, on s'en sert pour le soudage, la fusion d'alliages métalliques, ainsi que pour l'éclairage.

Dans l'usine de JULIUS PINTSCH, à Fürstenwalde<sup>1</sup>, le gaz à l'eau est employé pour le soudage de récipients à gaz, de bouées, de chaudières à cellulose, de tôles de 10-40 millimètres d'épaisseur, pour la fusion du bronze phosphoreux et de métaux.

DELLVIK<sup>1</sup>, de Stockholm, a imaginé dans ces derniers temps un procédé de préparation du gaz à l'eau, dans lequel, pendant la phase de soufflage, on introduit assez d'air pour qu'il se forme non pas de l'oxyde de carbone, mais de l'acide carbonique.

Il est ainsi dégagé une grande quantité de chaleur et on réalise en même temps une économie de coke. On obtient dans la période de soufflage un gaz riche en acide carbonique, qui est tout au plus utilisable comme flamme perdue.

Dans ce procédé, il est nécessaire de régler la hauteur de la couche de combustible ou la pression du vent, de façon que pendant le soufflage il ne se forme que de l'acide carbonique. La pression du vent restant la même, on règle la hauteur de la couche de coke ou bien on règle la pres-

<sup>1</sup> Brevet allemand n° 403511.



sion du vent conformément à une hauteur donnée de la couche de coke, qui devra être maintenue constante.

Le soufflage de l'air ne dure que quelques minutes, tandis que la confection du gaz dure 12-17 minutes.

Ce gazogène a une grille, sur laquelle repose la couche de combustible.

Sa disposition est mise en évidence par les figures 131 et 132. La figure 131 représente un gazogène qui est muni d'un récipient à charbon en fonte mobile pour la détermination de la hauteur de la couche de combustible nécessaire pour une pression de vent donnée, tandis que la figure 132 représente un appareil qui, après détermination de la hauteur

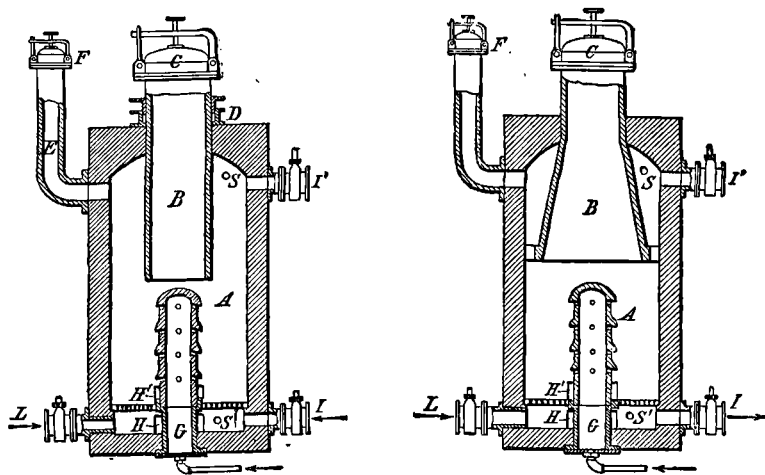


Fig. 131 et 132. — Appareils de Dellvick pour la préparation du gaz à l'eau.

de la couche de combustible convenable, a reçu, au lieu d'un récipient à charbon en fonte, un récipient en terre réfractaire.

Dans la figure 131, B est le récipient à charbon mobile dans la boîte à étoupe D, tandis que dans la figure 132 le récipient à charbon est, comme on vient de le dire, en terre réfractaire. Les deux récipients, après le chargement du combustible, sont fermés hermétiquement à l'aide de la trappe C. De l'air est introduit sous la grille du gazogène par le tube L. La vapeur arrive au-dessous de la grille par l'ouverture S'. Il y a en outre dans la partie supérieure du gazogène une seconde ouverture S pour introduire aussi de la vapeur. L'air est également introduit dans la couche de combustible par un deuxième tube vertical G, qui est pourvu de nombreuses buses. Pendant le soufflage de l'air, les produits de la combustion se dégagent par le tuyau E. Pendant l'introduction de la vapeur d'eau, ce tuyau est fermé au moyen de la soupape F. Afin de maintenir la température uniforme dans la couche de charbon, la vapeur est introduite alternativement par les ouvertures S et S'. Si c'est par S que la vapeur arrive, le gaz à l'eau sort par le tube I ; si, au contraire, elle pénètre par l'ouverture S', le gaz à l'eau s'échappe par le tube I'.

Le gaz à l'eau préparé dans l'usine de Warstein avait, d'après LEYBOLD <sup>1</sup>, la composition suivante :

Acide carbonique (et H <sup>2</sup> S) . . . . .	5,2	p. 100
Oxyde de carbone . . . . .	40,4	—
Méthane . . . . .	0,5	—
Hydrogène . . . . .	48,3	—
Azote . . . . .	5,6	—

FLEISCHER fait fonctionner le gazogène de DELLVIK avec le vent sous une pression de 300 millimètres d'eau environ.

Un gazogène de DELLVIK-FLEISCHER fournissait dans l'usine à gaz de Königsberg 2 mètres cubes de gaz à l'eau par kilogramme de coke avec 82,5 p. 100 de carbone. La quantité de gaz donnée en une heure par un gazogène s'élève à 260 mètres cubes. Le gaz est carburé avec de la vapeur de benzène et employé pour l'éclairage.

Le procédé de DELLVIK devrait être préféré au procédé ordinaire de préparation du gaz à l'eau, lorsqu'on n'a pas d'emploi pour le gaz de gazogène et lorsqu'il s'agit de la production de températures très élevées.

#### Gaz mixte.

Le gaz mixte est un mélange de gaz à l'air et de gaz à l'eau. On l'obtient en injectant en même temps dans un gazogène rempli de coke incandescent de l'air et de la vapeur d'eau.

Suivant BUNTE, on peut dans un pareil gazogène injecter 750 grammes de vapeur d'eau par kilogramme de carbone, sans que la température s'abaisse au-dessous de la limite nécessaire pour la formation du gaz.

Le gaz sort du gazogène avec une haute température (500° environ). On emploie avantageusement ce gaz chaud pour réchauffer la vapeur d'eau et l'air qui sont introduits dans le gazogène, ce qui permet de produire un gaz riche en hydrogène.

La composition du gaz, comme celui que Dowson <sup>2</sup> a obtenu dans son gazogène, est la suivante :

Acide carbonique . . . . .	6,57	p. 100 en volume
Oxyde de carbone . . . . .	25,07	— —
Méthane . . . . .	0,31	— —
Gaz oléfiant . . . . .	0,31	— —
Hydrogène . . . . .	18,73	— —
Oxygène . . . . .	0,03	— —
Azote . . . . .	48,98	— —

F. FISCHER <sup>3</sup> a analysé le gaz mixte produit dans la fabrique de KÖRTING, à Hanovre, il l'a trouvé composé en moyenne comme il suit :

<sup>1</sup> *Journal für Gasbeleuchtung*, 1898, p. 1528.

<sup>2</sup> *Engineering and Mining journal*, t. XXXIX, p. 418.

<sup>3</sup> R. WAGNER, F. FISCHER, et L. GAUTIER, *Traité de chimie industrielle*, 4<sup>e</sup> édition française, t. I. p. 55.

Acide carbonique . . . . .	7,2	p. 100 en volume.
Oxyde de carbone. . . . .	26,8	— —
Méthane. . . . .	0,6	— —
Hydrogène . . . . .	18,4	— —
Azote. . . . .	47,0	— —

Le charbon employé était l'anthracite. 1 kilogramme de ce dernier a fourni 4,8 mètres cubes de gaz. 1 mètre cube de gaz avait une chaleur de combustion égale à 1345 Cal. La température des gaz au sortir du gazogène s'élevait à 495°.

D'après KNAPP<sup>1</sup>, le gaz mixte produit dans la fabrique de moteurs à gaz de Deutz, près Cologne, offre la composition suivante :

Hydrogène . . . . .	17	p. 100 en vol.
Oxyde de carbone. . . . .	23	—
Hydrocarbures . . . . .	2	—
Acide carbonique. . . . .	6	—
Azote. . . . .	52	—

On emploie le gaz mixte comme combustible pour la production de hautes températures et sur une grande échelle comme force motrice, pour actionner des moteurs à gaz.

Le gaz à l'eau, qui doit être employé comme force motrice, est préalablement épuré dans un scrubber.

Parmi les nombreux gazogènes pour gaz mixtes, nous mentionnerons celui de TAYLOR<sup>2</sup>, qui est un des plus répandus. Il est représenté par la figure 133. La cuve est en tôle de fer et elle est pourvue intérieurement d'un revêtement réfractaire M. A est l'appareil de chargement, N le tuyau abducteur du gaz mixte. Le cendrier est fermé par la porte D. Au moyen d'une soufflerie à jet de vapeur J, de l'air est aspiré et injecté dans la cuve avec la vapeur d'eau par le tuyau K. La quantité de l'air à introduire est réglée à l'aide du robinet P. G est une table rotative, dont la surface bombée en forme de cône entoure le tube K. On peut faire tourner cette table à l'aide de la manivelle E. Les baguettes H de différentes longueurs, partant de l'enveloppe

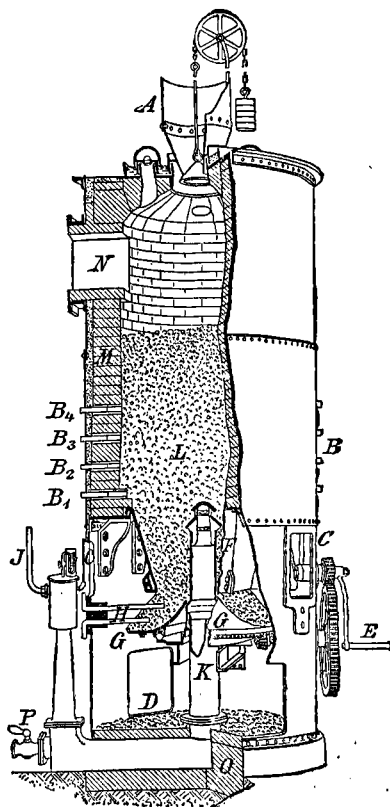


Fig. 133. — Appareil à gaz mixte de Taylor.

G est une table rotative, dont la surface bombée en forme de cône entoure le tube K. On peut faire tourner cette table à l'aide de la manivelle E. Les baguettes H de différentes longueurs, partant de l'enveloppe

<sup>1</sup> *Vortrag im Kölner Bezirksverein deutscher Ingenieure*, 9 fév. 1898.

<sup>2</sup> Brevet allemand n° 50137.

du gazogène, servent pour désagréger les résidus de la combustion qui se trouvent sur la table rotative. B<sub>1</sub> à B<sub>4</sub> sont des regards permettant d'observer la marche de la combustion dans le gazogène. La combustion du charbon doit commencer à 10 centimètres au-dessus de l'extrémité supérieure du tube K. Au-dessous de ce niveau, il ne doit se trouver dans l'entonnoir en fonte perforé F que des résidus de combustion. Ces derniers arrivent sur la table rotative G et, lorsqu'on fait tourner celle-ci à l'aide de la manivelle E, ils tombent dans le cendrier, duquel on les retire par la porte D. La table G est mise en mouvement, dès que la zone de combustion monte trop haut, ce dont on s'aperçoit en regardant par B<sup>2</sup> et B<sup>3</sup>. La cendre étant éliminée, la colonne de combustible s'abaisse.

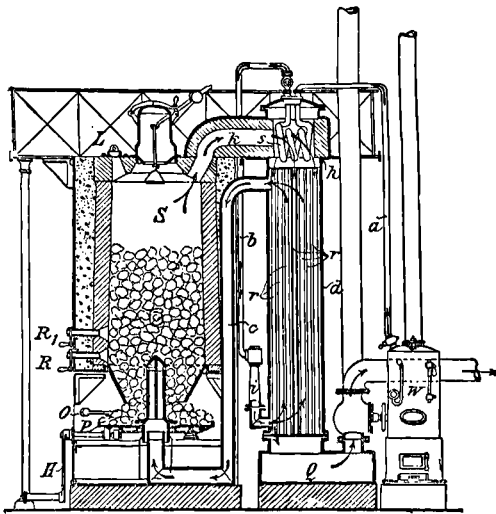


Fig. 134. — Appareil à gaz mixte de Fichet et Heurtey.

Le gazogène de TAYLOR donne de très bons résultats.

FICHET et HEURTEY<sup>1</sup> ont perfectionné l'appareil de TAYLOR en chauffant l'air et la vapeur d'eau, avant leur introduction dans le gazogène, au moyen de la chaleur du gaz mixte sortant de celui-ci.

La figure 134 représente le gazogène à gaz mixte

de TAYLOR, perfectionné par FICHET et HEURTEY.

La petite chaudière verticale W sert pour produire la vapeur. Celle-ci arrive par le tube a dans le serpentin s, qui se trouve dans la partie supérieure du réchauffeur. Là, elle est chauffée par le gaz mixte sortant du gazogène par le canal k et elle se rend ensuite par le tube b dans la soufflerie à jet de vapeur i; après aspiration de la quantité d'air nécessaire, la vapeur pénètre avec celui-ci dans la partie inférieure du réchauffeur et, passant autour des tubes r, traversés par le gaz mixte chaud, elle parcourt le réchauffeur de bas en haut. De la partie supérieure de ce dernier, l'air et la vapeur d'eau pénètrent dans le gazogène par le tube c. Le gaz mixte arrive par le canal k et les tubes r du réchauffeur dans l'espace Q. De ce dernier, il se rend dans le lieu où il doit être employé ou, s'il doit servir pour actionner des moteurs à gaz, il passe d'abord dans un épurateur et ensuite dans un gazomètre. En vue du nettoyage du réchauffeur, son couvercle est disposé de façon à pouvoir être facilement enlevé. Pour éliminer la cendre du gazogène, on tourne le disque mobile P, à l'aide de la manivelle H. On désagrège la cendre par les trous O, au moyen de tiges de fer. Par les ouvertures L, on introduit des instruments à l'aide desquels on

<sup>1</sup> Brevet allemand n° 74982.

rend plus régulière, lorsque c'est nécessaire, la descente du combustible. R et R<sub>1</sub> sont des regards.

Lorsqu'on se sert de charbon à gaz, le gaz mixte en se refroidissant laisse déposer du goudron. Dans ce cas, on établit le réchauffeur aussi près que possible du four dans lequel a lieu la combustion du gaz mixte, afin que ce dernier puisse brûler sans séparation de goudron. Il est évident que dans ce cas le gaz mixte ne peut pas servir pour réchauffer de l'air et de la vapeur d'eau ; on doit alors employer pour le réchauffage les flammes perdues du four.

#### Gaz Riché<sup>1</sup>.

[Le gaz Riché est un gaz au bois, dont la préparation est basée sur le principe de la *distillation renversée*, laquelle consiste à faire passer, de haut en bas, à travers une colonne de charbon de bois, résidu d'une opération précédente et porté au rouge, les produits de la distillation en vase clos du bois ou de déchets de bois. De cette façon, les produits condensables de la distillation sont ramenés à l'état de gaz permanents, la vapeur d'eau est transformée en hydrogène et oxyde de carbone et l'acide carbonique lui-même est réduit en partie à l'état d'oxyde de carbone.

Le gaz ainsi obtenu est un gaz riche, puisque, produit en vase clos, il ne contient pas d'azote. Il se compose d'oxyde de carbone, d'hydrogène, de méthane et d'acide carbonique, qui s'y trouvent en moyenné dans les proportions suivantes :

Oxyde de carbone . . . . .	20 p. 100
Hydrogène . . . . .	45 —
Méthane . . . . .	15 —
Acide carbonique. . . . .	20 —

La chaleur de combustion de 1 mètre cube de gaz Riché est égale à 3000 Cal. Son pouvoir pyrométrique est considérable : la température de sa flamme atteint au minimum 2000°.

L'appareil employé pour la fabrication du gaz Riché (fig. 135 et 136) se compose de cornues en fonte formées de deux pièces cylindriques, dont l'une A, de 2,75 mètres de longueur et 25 centimètres de diamètre intérieur, constitue la cornue de distillation proprement dite. Le cylindre A repose par sa partie inférieure dans la gorge C de la seconde pièce horizontale D, qui forme le pied de la cornue et est munie à son extrémité antérieure d'une fermeture à étrier, que l'on enlève lorsqu'il s'agit de retirer le charbon en excès. Les gaz produits sortent par l'ouverture E, qui se trouve à l'avant du pied de la cornue, et se rendent, par le tube recourbé F, sous la cloche du barillet H, communiquant avec le gazomètre, en traversant la tuyauterie indiquée sur les figures.

Les cornues, au nombre de deux, par exemple, comme dans le dispositif représenté par les figures 135 et 136, sont placées dans des gaines B, B, ménagées dans un massif en maçonnerie réfractaire. Elles sont chauffées au moyen de coke, de houille, de bois ou de déchets de bois brûlés dans

<sup>1</sup> Voy. CH. VIGREUX et L. BARDOLLE, *Le gaz Riché, ses applications industrielles.*

le foyer J et dont les flammes arrivent, par le carneau K, dans les gaines B, B', d'où après avoir chauffé les cornues, elles s'échappent par leur partie supérieure, pour se rendre dans la cheminée.

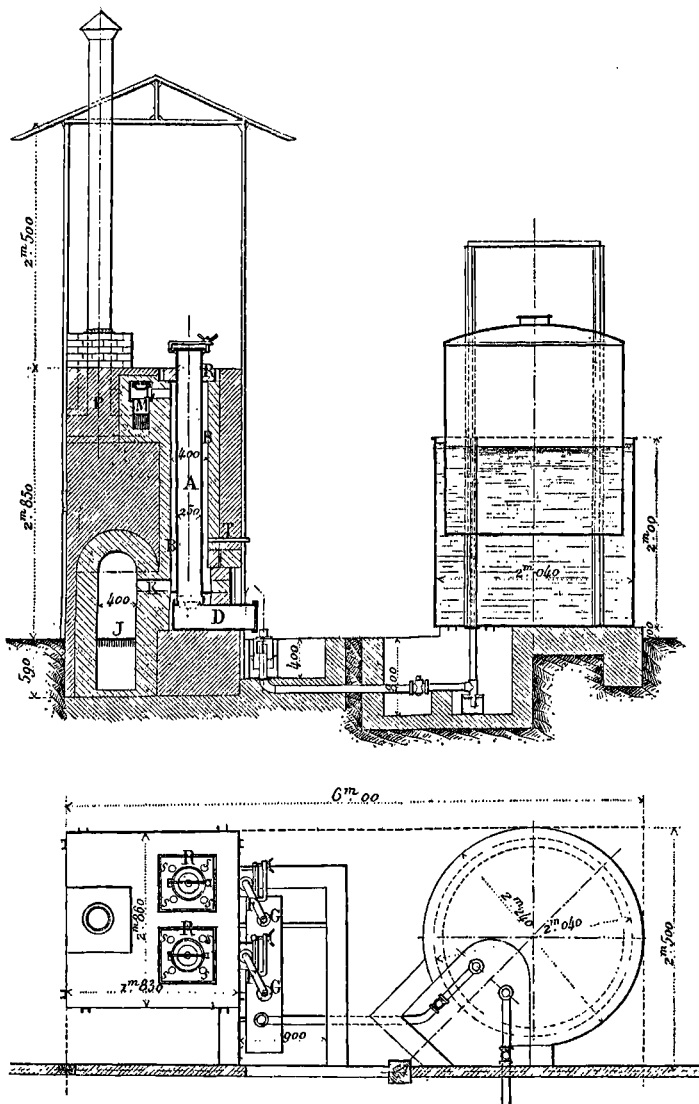


Fig. 135 et 136. — Gazogène Riché; coupe verticale et plan.

Pour mettre l'appareil en marche, on commence par remplir la partie inférieure de la cornue avec du charbon de bois et on chauffe au rouge-fer; on enlève alors le tampon fermant la tête de la cornue et on charge une quantité de bois convenable par-dessus le charbon. On remet ensuite le tampon en place et la distillation commence aussitôt. Les gaz et les

vapeurs produits passent à travers la couche incandescente de charbon qui remplit la partie inférieure de la cornue, s'y réduisent et s'y épurent, et se rendent finalement dans le gazomètre, en suivant la marche indiquée plus haut. Après deux ou trois charges successives, il faut, en enlevant la fermeture du pied de la cornue, retirer du charbon résidu une quantité

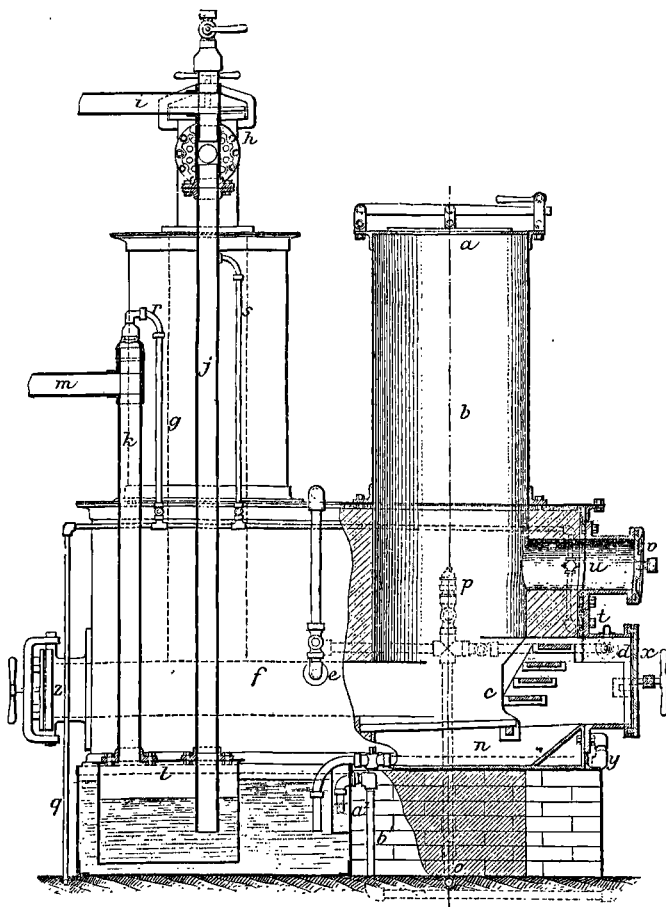


Fig. 137. — Gazogène autoréducteur à double combustion de Riché.

équivalente à celle qui s'est produite dans les opérations précédentes. Ce charbon, recueilli dans un étouffoir, constitue un excellent produit, qui peut être vendu avantageusement.

Le prix de la tonne de bois convenable pour la gazéification étant égal à 15 francs, celui de la tonne de houille destinée au chauffage à 20 francs, et la valeur du charbon de bois étant de 6 francs les 100 kilogrammes, le mètre cube de gaz Riché revient à 1,6 centime.

Le gaz Riché peut être employé pour le soudage, le brasage et l'alimentation de différents fours dans les usines métallurgiques ; on s'en sert éga-

lement pour le chauffage des fours à verre et des fours de cuisson céramique, ainsi que pour actionner les moteurs à gaz, usage pour lequel il offre de sérieux avantages.

Dans le nouveau gazogène imaginé par H. RICHÉ et désigné sous le nom de *gazogène autoréducteur à double combustion*, le gaz au lieu d'être produit par distillation comme dans le dispositif précédent est obtenu par combustion<sup>1</sup>.

Cet appareil consiste essentiellement en un four à cuve ordinaire soufflé par en bas, auquel est adjoit une colonne remplie de coke chauffé à une haute température par la chaleur que dégage le combustible brûlé dans le four à cuve. Ces deux colonnes, l'une de combustible à brûler, l'autre de coke réducteur, sont réunies par un carneau horizontal, formant entre les deux colonnes une sorte de chambre à combustion, dans laquelle on souffle de l'air; celui-ci est destiné à brûler le goudron résultant de la distillation d'une partie du combustible dans le four à cuve, quand ce dernier est chargé de houille, de bois ou de toute autre matière pouvant fournir des produits de distillation; quand on se sert d'un autre combustible (coke), cette insufflation d'air peut être supprimée. Le gaz, après avoir traversé de bas en haut la colonne de coke, est amené dans un barillet, d'où il passe dans un gazomètre.

Le gazogène autoréducteur à double combustion, dont nous venons d'indiquer les dispositions et le mode de fonctionnement, est représenté par la figure 137, avec le barillet-laveur que traverse le gaz avant de se rendre au gazomètre. Dans cette figure, *a* est la porte de chargement du combustible, munie de son étrier, *b* la colonne de combustible, *c* le foyer proprement dit, *d* l'entrée de l'air primaire, *e* l'entrée de l'air secondaire, *f* la chambre intermédiaire, dite de combustion, *g* la colonne réductrice, avec sa trémie de chargement *h* et son tampon de nettoyage *z*; *j* est le tube d'arrivée du gaz au barillet-laveur, *l* le barillet-laveur et *k* tube de sortie, communiquant avec le tube *m*, qui conduit le gaz où il doit être utilisé; *n* est le cendrier, *o* le tuyau amenant l'air soufflé, *t* l'arrivée d'eau au cendrier et *x* la porte du foyer.

Le gaz fourni par cet appareil, par combustion de déchets de bois de peuplier, avec 60 p. 100 d'eau, offre la composition suivante :

Oxyde de carbone. . . . .	11,6 p. 100
Acide carbonique . . . . .	9,3 —
Ethylène . . . . .	1,0 —
Méthane . . . . .	3,4 —
Hydrogène . . . . .	12,2 —
Azote. . . . .	62,5 —

La chaleur de combustion de ce gaz, calculée d'après sa composition, s'élève par mètre cube à 1 200 Cal.]

#### 4. — Emploi des combustibles.

Le mode d'emploi des combustibles diffère suivant que l'on a à brûler

<sup>1</sup> Voy. G. BRIAND, *Gazogène autoréducteur à double combustion*. PARIS, CH. BÉRANGER.



des combustibles solides, liquides ou gazeiformes. Mais dans tous ces cas, les appareils où la combustion doit avoir lieu doivent être pourvus de dispositifs pour l'apport de l'air aux corps à brûler et pour l'entraînement des produits de combustion gazeiformes. Ces dispositifs sont des cheminées, dans quelques cas aussi des souffleries. Nous avons donc à distinguer :

A. Les appareils pour la combustion des différents combustibles.]

B. Les dispositifs destinés à déterminer l'apport de l'air aux combustibles et l'entraînement des produits de combustion gazeiformes.

## A. — Appareils pour la combustion.

### a. — Combustion des combustibles solides.

La combustion des combustibles solides est effectuée de différentes manières : les combustibles sont brûlés séparément des corps à chauffer dans une enceinte particulière, ou bien ils sont en contact immédiat avec les corps qu'il s'agit de chauffer, ou bien encore ils sont brûlés dans une enceinte particulière où les corps à chauffer ne sont introduits qu'après l'achèvement de la combustion (fours à boulanger). Dans le premier cas, il faut un dispositif de chauffage particulier, un foyer, duquel la flamme du combustible est conduite dans l'enceinte où se trouvent les corps à chauffer, le laboratoire. Dans les deux derniers cas, le foyer et le laboratoire se confondent et forment une enceinte unique.

Nous avons donc à distinguer la *combustion des combustibles solides* dans des *foyers particuliers* et leur combustion *sans foyers particuliers*.

#### Combustion des combustibles solides dans des foyers particuliers.

La plupart des foyers pour combustibles solides sont disposés de façon que la combustion ait lieu sur une surface ajourée, sur une **grille**. Ce n'est qu'exceptionnellement qu'elle est effectuée sur une surface sans intervalles vides. On distingue, d'après cela, les **foyers à grille** et les **foyers sans grille**. Dans les foyers à grille, les résidus de la combustion se séparent à l'état solide sous forme de cendré, et ils peuvent être pulvérulents ou en morceaux agglomérés.

#### *Foyers à grille.*

Tout **foyer à grille** se compose du foyer proprement dit, de la grille et du cendrier.

Le *foyer* proprement dit, dans lequel a lieu la combustion des corps solides, est fermé inférieurement par la grille.

La flamme des combustibles qui se trouvent sur la grille, ainsi que les gaz brûlés passent du foyer directement dans le laboratoire, de sorte qu'ils viennent se mettre en contact immédiat avec les corps à chauffer, ou bien ils contournent entièrement ou partiellement le laboratoire, de façon que celui-ci est chauffé extérieurement et que les corps à chauffer ne sont pas touchés par la flamme et les gaz brûlés. Le *cendrier* forme au-dessous de

la grille le prolongement du foyer. Il sert pour recevoir la cendre et c'est aussi par lui qu'arrive sous la grille l'air nécessaire à la combustion. Il est ouvert du côté antérieur du foyer, lorsque l'afflux de l'air dans ce dernier doit être produit par le tirage d'une cheminée; il est fermé lorsque l'air de combustion doit y être introduit au moyen de souffleries (tirage forcé). Le combustible est introduit dans le foyer par des ouvertures qui sont fermées à l'aide de portes ou par le combustible lui-même.

Suivant la disposition de la grille, on distingue toute une série de foyers à grille. Le foyer le plus répandu est le foyer à grille plane.

### *Grille plane.*

Cette grille représente une plaque horizontale ou inclinée, formée d'un certain nombre de barreaux placés les uns à côté des autres. La grille n'est qu'exceptionnellement formée d'une plaque de fonte perforée. Le combustible est étendu sur la grille. L'air de combustion passe par les espaces libres laissés entre les barreaux de la grille et arrive au contact du combustible.

La forme des barreaux composant la grille est extrêmement variable. Pour les basses températures, les barreaux sont le plus souvent en fonte avec section trapézoïde. A leurs extrémités, ils sont munis de têtes qui déterminent la largeur des vides qu'ils laissent entre eux, et pour leur donner plus de solidité ils sont renflés sur leur face inférieure et souvent aussi évidés dans la partie renflée. Supérieurement, leur épaisseur est égale à 15-20 millimètres, et inférieurement à 10 millimètres. Leur hauteur s'élève dans le milieu à 100 millimètres, aux extrémités à 40-50 millimètres. Afin d'augmenter leur durée, on les fait fréquemment avec du fer pauvre en carbone et du côté du feu on les trempe, pour leur donner plus de dureté.

Les barreaux de grille qui ont à supporter de hautes températures (par exemple, dans les fours à réverbère) sont en fer doux et on leur donne une section carrée avec 30-40 millimètres de côté.

Les barreaux reposent sur des supports en fer de section extrêmement variée et qui sont ordinairement encastrés dans les longs côtés du foyer. Pour les longues grilles, on établit ordinairement deux séries de barreaux l'une derrière l'autre, et dans ce cas il y a au milieu du foyer un autre support ou sommier.

La grandeur de l'espace entre deux barreaux contigus dépend de la grosseur des morceaux du combustible et de l'espèce de celui-ci, et elle oscille entre 2 à 10 millimètres.

On donne à la grille une longueur qui permette de la charger commodément, et on ne va pas au delà de 2 mètres.

On nomme *surface totale* la surface tout entière de la grille, et *surface libre* la surface entière des vides entre les barreaux.

Le rendement d'une grille dépend de sa grandeur et de la quantité d'air amené au combustible. Cette dernière quantité dépend à son tour de la grandeur de la surface libre de la grille, de l'énergie du tirage de la cheminée et de la hauteur de la couche de combustible.

D'après BECKERT<sup>4</sup>, on donne aux grilles, pour 100 kilogrammes de combustible à brûler en une heure : 1,32 à 2 mètres carrés de surface pour le coke, 0,75 à 1,40 mètre carré pour la houille, 0,25 à 1 mètre carré pour le lignite, 0,75 à 1,25 mètre carré pour le bois et la tourbe.

Le rapport de la surface libre à la surface totale de la grille est pour le coke comme 1 : 3-1 : 2 ; pour la houille comme 1 : 3-1 : 2 ; pour le lignite comme 1 : 5-1 : 3 ; pour la tourbe et le bois comme 1 : 7-1 : 5.

La *combustion* sur les grilles se présente différemment suivant que l'on emploie des **combustibles carbonisés** ou **non carbonisés**. Afin d'obtenir le dégagement de la quantité maxima de chaleur, on cherche à brûler les combustibles carbonisés autant que possible en acide carbonique.

Si le combustible **carbonisé** forme sur la grille une couche épaisse, la partie inférieure de celle-ci, qui est en contact avec la grille, brûle en acide carbonique avec l'air arrivant par les vides. Une partie de l'acide carbonique, en traversant la couche chaude de combustible, est réduite en oxyde de carbone, ce qui absorbe de la chaleur. On ne peut éviter cet inconvénient qu'en donnant une faible hauteur à la couche de combustible, et la faisant traverser par un excès d'air, de façon qu'il passe à travers le combustible, non pas de l'acide carbonique et de l'azote, mais un mélange d'air et d'acide carbonique. Mais si l'on emploie trop d'air, la température devient trop basse. Ainsi, est-il nécessaire d'effectuer la combustion avec un excès d'air pas trop grand. Tandis qu'on admettait autrefois qu'un excès d'air de 100 p. 100 au delà de la quantité théoriquement nécessaire était ce qu'il y avait de plus convenable pour la combustion, on est arrivé actuellement, par une conduite mieux entendue des foyers à grille, à un chiffre beaucoup plus bas. L'excès d'air ne s'élève qu'à 12-25 p. 100 au-dessus de la quantité théoriquement nécessaire avec des foyers parfaitement conduits et à 33-70 p. 100 avec des foyers bien conduits. Il y a toujours dans les gaz de la combustion plusieurs unités p. 100 d'oxyde de carbone.

Lorsqu'on emploie des combustibles **non carbonisés**, ceux-ci sont d'abord privés de leurs gaz, les gaz combustibles ainsi expulsés sont complètement brûlés et le résidu carbonisé est brûlé en acide carbonique. Lors de la combustion, les deux processus se passent en même temps, le combustible fraîchement chargé étant gazéifié, pendant que le combustible privé de ses gaz est brûlé en acide carbonique. La quantité de l'air de combustion doit être mesurée de façon qu'elle suffise non seulement pour la combustion en acide carbonique du résidu carbonisé, mais encore pour la combustion des gaz de carbonisation (hydrocarbures, hydrogène, oxyde de carbone). On la règle de façon que les gaz de combustion ne renferment que quelques unités p. 100 en volume d'oxyde de carbone. Ce qui a été dit précédemment relativement à l'excès d'air est également applicable à la combustion des combustibles non carbonisés.

Lorsqu'on jette du combustible frais sur la couche en combustion qui se trouve sur la grille, il se dégage des gaz combustibles non brûlés et il se produit de la **fumée** ou du **noir de fumée**.

Dès que le nouveau combustible tombe sur la couche en combustion, il

<sup>4</sup> BECKERT, *loc. cit.*

perd une partie de ses gaz. L'air arrivant par la grille ne suffit pas pour brûler ces gaz (hydrocarbures). Mais, même en présence de la quantité d'air nécessaire, les gaz ne peuvent pas brûler, parce qu'ils ne sont pas chauffés à la température d'inflammation. En effet, par suite du contact de la surface externe du combustible frais avec le combustible qui se trouve en combustion, et aussi par suite du dégagement de gaz et de vapeurs du nouveau combustible, il se produit un abaissement de température si intense que la température d'inflammation des gaz combustibles expulsés n'est pas atteinte. C'est pour cela que ceux-ci se dégagent non brûlés.

La formation de la fumée est due à l'abaissement de la température au-dessous de la température d'inflammation des hydrocarbures lourds. Le carbone séparé dans la flamme éclairante des hydrocarbures ne peut plus alors brûler, mais se sépare sous forme de noir de fumée. Il se forme, en outre, du noir de fumée lorsque des hydrocarbures lourds viennent se mettre en contact avec les parois rouges du four, étant alors décomposés en noir de fumée et hydrocarbures légers. Le noir de fumée et la fumée passent sans être brûlés dans la cheminée, ce qui occasionne également une perte de combustible.

On a cherché à faire disparaître ou à restreindre cet inconvénient avec les grilles planes par le mode de chargement, par la combustion simultanée de combustibles crus et de combustibles carbonisés sur des grilles inclinées ou des grilles doubles, par combustion des produits de distillation au moyen d'air réchauffé.

Dans d'autres espèces de foyers à grille, la formation de la fumée est amoindrie par la disposition de la grille et le mode de chargement.

La charge doit, afin d'atténuer la production de la fumée, être étendue uniformément en une couche mince sur toute la surface de la grille. Ce but est atteint à l'aide de dispositifs de chargement mécanique. Dans le *foyer de CARIO*, qui possède une grille en dos d'âne composée de barreaux inclinés avec prolongements horizontaux, le chargement est effectué au moyen d'un baquet. Celui-ci, rempli de houille, est poussé au-dessus du dos de la grille et ensuite retourné, de telle sorte que la houille tombe sur ce dernier et s'étale en une couche mince sur les surfaces inclinées de la grille. Lors du chargement subséquent, la houille carbonisée qui se trouve sur le dos de la grille est poussée sur les surfaces inclinées de celle-ci, de sorte que le coke tombe sur les prolongements horizontaux des barreaux, et la houille fraîche s'étale en une couche mince sur le charbon incandescent. De pareils dispositifs sont employés pour les foyers des chaudières à vapeur.

La *grille inclinée* (de TENBRINK) n'est employée avec avantage que pour les combustibles non collants. Le combustible est chargé sur la partie supérieure de la grille, où a lieu sa carbonisation. Le combustible carbonisé descend peu à peu vers la partie inférieure de la grille et y est gazéifié. L'air frais passe à travers la couche de combustible carbonisé en voie de combustion et il y acquiert une température suffisamment haute pour brûler les gaz résultant de la carbonisation du combustible.

La *grille double* (de FAIRBAIRN) se compose de deux grilles planes horizontales juxtaposées, séparées l'une de l'autre par une cloison. Sur l'une de ces grilles brûle le combustible froid, sur l'autre le combustible déjà

privé de ses gaz. Les gaz de combustion des deux grilles se réunissent derrière la cloison, où les gaz dégagés du combustible frais qui se trouve sur la première grille sont brûlés par les gaz oxygénés chauds résultant de la combustion sur la seconde grille du combustible carbonisé.

Dans la combustion des produits de distillation avec de l'air réchauffé, le plus avantageux semble être de travailler avec une couche épaisse de combustible et un faible excès d'air, de façon qu'il se forme une grande quantité d'oxyde de carbone, qui brûle en même temps et avec ces produits.

Ce mode de chauffage est désigné sous le nom de *chauffage au demi-gaz*. Parmi les nombreux dispositifs de chauffage au demi-gaz, nous citerons le foyer de WILSMANN, qui est en même temps fumivore. Il est représenté par la figure 138<sup>1</sup> : *g* est la grille plane chargée de combustible. Au-dessus de celle-ci, dans le voisinage du pont de chauffe, est établi un arc *f* en briques réfractaires, fermant le foyer en arrière et qui, en vue de sa conservation, doit être refroidi avec de l'eau ou de l'air.

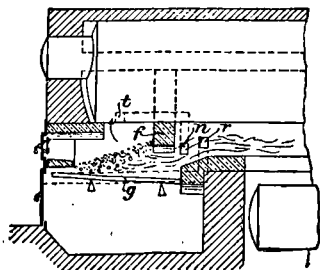


Fig. 138. — Foyer de Wilsmann.

La couche de combustible qui se trouve sur la grille est assez haute pour qu'au-dessus d'elle il ne puisse pas passer d'air derrière l'arc. Sur la partie antérieure de la grille a lieu la carbonisation du combustible, tandis que brûle sur la partie postérieure le combustible privé de ses gaz. Les gaz dégagés pénètrent en *t* dans un carneau ménagé dans le mur latéral; par son orifice *n*, ils sont déversés immédiatement dans la flamme chaude et ils sont brûlés au moyen d'air réchauffé, qui est amené par le carneau *r*. Ce foyer travaille absolument sans fumée, mais il exige une grande surface de grille.

Outre les grilles planes, on emploie aussi pour ce mode de chauffage d'autres sortes de grilles (grille à gradins, etc.).

#### *Grille à gradins.*

La grille à gradins (fig. 139) se compose d'une série de plaques de fer, qui sont placées les unes au-dessus des autres à des intervalles réguliers, de façon à former un escalier avec une inclinaison de 40 à 45 degrés.

Ces plaques reposent par une de leurs extrémités sur des saillies de pièces en fonte établies dans les parois latérales du foyer et au milieu sur un support commun.

Au pied de la grille à gradins, se trouve une grille plane, par laquelle peut tomber la cendre du combustible.

Les différentes plaques qui forment la grille à gradins sont mobiles, afin de faciliter le nettoyage de celle-ci. Le combustible est déversé à l'extré-

<sup>1</sup> BECKERT, *loc. cit.*, p. 108.

mité supérieure de la grille au moyen d'une trémie de chargement, ou par une ouverture ménagée dans la paroi frontale du foyer. La carbonisation du combustible a lieu sur la partie supérieure de la grille. Le combustible carbonisé est poussé par le chauffeur sur la partie inférieure de la grille, où il brûle complètement.

Avec la grille à gradins, il n'entre pas d'air froid dans le foyer lorsqu'on charge du combustible frais; en outre, la formation de la fumée est diminuée, mais ne peut pas cependant être complètement empêchée.

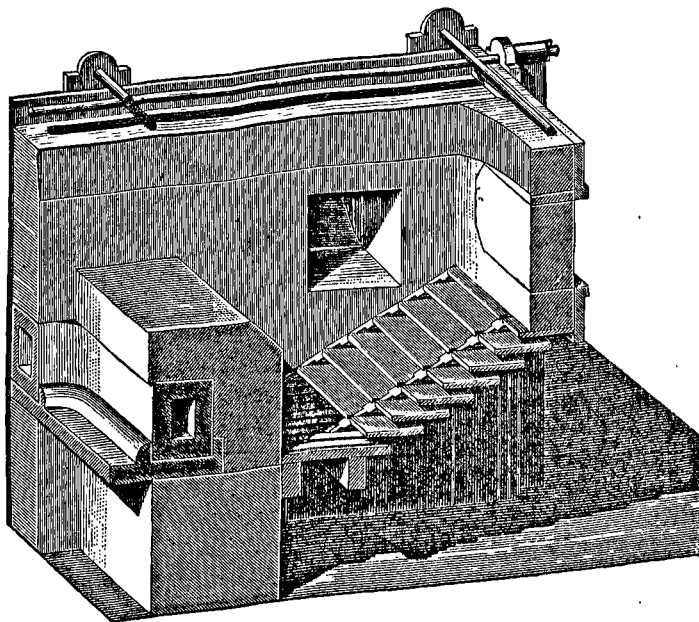


Fig. 139. — Grille à gradins.

Cette grille convient surtout pour brûler des combustibles en petits morceaux, qui avec des grilles planes tomberaient entre les barreaux. Seulement, le menu des combustibles collants ne convient pas pour la grille à gradins. Pour les combustibles très fins, l'emploi du tirage forcé par soufflage d'air au-dessous de la grille est nécessaire.

#### *Grilles à étages.*

Dans la grille à étages, le combustible froid est chargé, non pas sur la couche en voie de combustion, mais au-dessous de celle-ci. Elle se compose de plusieurs grilles superposées *e, e, e* (fig. 140), dont les supérieures sont formées de barreaux recourbés par en bas dans leur partie postérieure, et d'une grille plane *p*, établie au-dessous de la plus basse des grilles *e*. L'angle de la surface inclinée est égal à 28°. La partie horizontale des grilles *e* se termine du côté frontal du foyer par des plaques de fer *g, g, g*, destinées à recevoir le combustible. La cendre de ce dernier tombe

sur la grille plane et en est éliminée par l'ouverture *o*, munie d'un dispositif de fermeture.

Le combustible est d'abord placé sur les plaques de fer *g, g, g*, et après s'y être réchauffé, il est poussé, sous la couche en combustion, où il est privé de ses gaz (carbonisé).

Les gaz dégagés passent à travers le combustible qui brûle, y sont chauffés jusqu'à leur point d'inflammation et brûlés *complètement* par l'air qui pénètre entre les barreaux des grilles et traverse également la couche en combustion. Le combustible carbonisé est poussé en avant

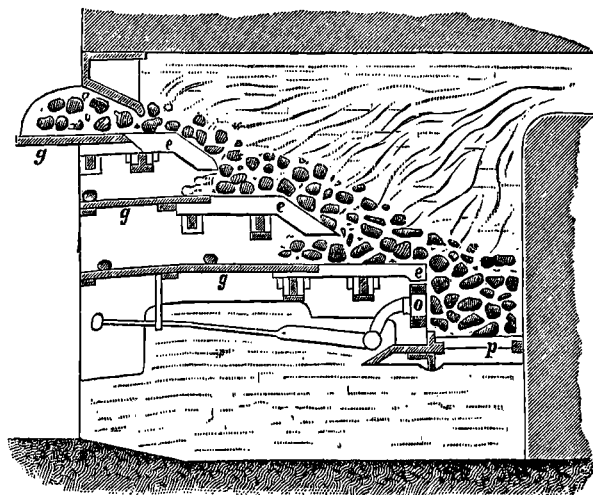


Fig. 140. — Grille à étages.

par le combustible frais chargé sur les plaques *g* et qu'à l'aide d'un râble on fait avancer vers *e*; il roule alors sur la surface inclinée de la grille pour tomber sur la grille inférieure suivante, où il est recouvert par le combustible fraîchement chargé.

Le chargement est effectué de la manière suivante : on pousse d'abord le combustible en avant sur la plaque la plus basse, de façon que le combustible carbonisé qui se trouve sur la grille inférieure tombe sur la grille plane; ensuite, de la même manière, on pousse en avant le combustible sur la plaque immédiatement supérieure, et ainsi de suite.

A l'aide de la grille à étages, qui convient aussi pour le combustible menu pas trop fin, on réduit beaucoup la formation de la fumée. Jusqu'à présent elle n'a trouvé emploi que pour le chauffage des chaudières à vapeur. Une forme perfectionnée de cette grille est construite par la maison HUMBOLDT, à Kalk, près Cologne.

#### *Foyer à flamme renversée.*

On emploie les *foyers à flamme renversée* pour brûler des combustibles *non carbonisés*. Dans ces dispositifs, l'air destiné à brûler le combustible

pénètre de haut en bas et traverse d'abord le combustible non carbonisé et ensuite le combustible carbonisé. Les gaz dégagés lors de la carbonisation du combustible suivent la même voie et brûlent complètement, parce qu'ils sont exposés à des températures croissantes.

La grille est plane ou verticale. Souvent aussi, elle est remplacée par les couches inférieures de combustible.

Dans les foyers à flamme renversée, les grilles étant exposées à une très haute température sont de peu de durée, ce qui offre un grave inconvénient dans la grande industrie ; en outre, les cendres entraînées par la flamme donnent facilement lieu à l'obstruction des grilles. Les figures 141 et 142 représentent un foyer à flamme renversée pour bois, dans lequel la grille est formée par les morceaux de bois à brûler.

Le bois est placé sur les deux saillies *a, a*, ménagées sur les côtés du

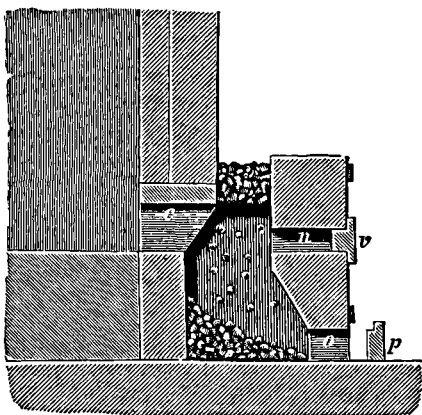


Fig. 141. — Foyer à flamme renversée; coupe longitudinale.

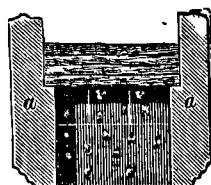


Fig. 142. — Foyer à flamme renversée; coupe transversale.

foyer. Les bûches tombent, avant d'être complètement brûlées, sur la sole du foyer, où leur combustion s'achève. L'air nécessaire pour cela pénètre par l'ouverture *o* dans le cendrier, qui peut être fermé au moyen de la brique *p*. La flamme passe dans le canal *c*, par lequel elle est conduite dans l'enceinte qu'elle doit chauffer. La flamme résultant de la combustion du bois tombé se réunit en *c* avec l'autre flamme. *n* est un regard, que l'on peut fermer avec la brique *v* et qui sert pour se rendre compte de ce qui se passe à l'intérieur du foyer.

#### *Foyers à grille pour combustibles à grain fin.*

Parmi les foyers pour combustibles à grains fins ou pulvérulents, lesquels peuvent être des déchets de combustibles ou de la poudre de charbon préparée avec intention, nous mentionnerons le foyer de KUDLICZ. Ce foyer est représenté par les figures 143 et 144<sup>1</sup>. Il se compose d'une grille consistant en une plaque perforée (avec trous coniques), d'une boîte à vent close et d'une soufflerie. Le vent, pénétrant par les trous de la grille, soulève les particules de combustible et les maintient flottantes, position dans laquelle elles brûlent. Ce foyer donne de bons résultats.

<sup>1</sup> BECKERT, *loc. cit.*, p. 411.



Foyers sans grille.

Aux foyers sans grille appartiennent les foyers pour poussière de charbon. Le charbon, transformé en poussière au moyen de machines à broyer, est brûlé en mélange intime avec de l'air. La combustion a lieu sans fumée; cependant dans certaines circonstances, le charbon privé de ses gaz n'est pas brûlé complètement et sort par la cheminée sous forme d'une poudre noire.

Parmi les nombreux foyers de cette espèce, nous mentionnerons celui de FRIEDEBERG, qui est employé avec succès dans les fonderies pour le chauffage des fours à creusets, ainsi que celui de SCHWARTZKOPFF. Le dispositif de FRIEDEBERG est représenté par la figure 145.

La trémie, par laquelle est introduite la poussière de charbon, débouche dans la caisse *a*. Dans la partie supérieure de cette dernière se trouvent deux poches *b*,

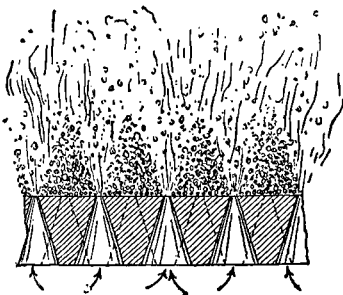


Fig. 144. — Foyer de Kudlicz; coupe verticale de la grille.

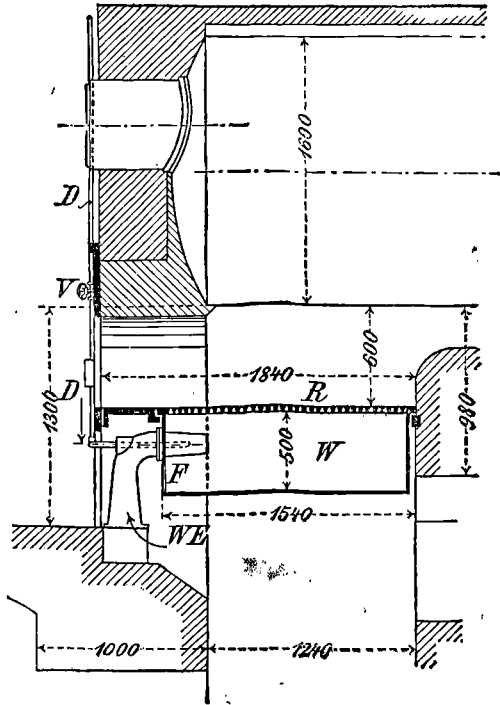


Fig. 143. — Foyer de Kudlicz pour combustibles pulvérulents; coupe verticale.

ouvertes inférieurement et placées vis-à-vis l'une de l'autre: Dans chacune de ces poches pénètre une buse, partant du tube adducteur de l'air *d*. Les buses sont dirigées de façon que le vent amené dans la caisse *a* soulève la poussière du charbon et la pousse par les poches dans les canaux *c*. De ces derniers, elle est chassée, mélangée intimement avec de l'air, dans le tuyau ascendant *g*. A l'extrémité de celui-ci, un second courant d'air, qui du tube à air principal *q* pénètre en *r* dans un tuyau d'abord horizontal, puis recourbé et de nouveau horizontal, la pousse sur le cône *n* et ensuite, après avoir été finement divisée par ce dernier, la refoule, par l'espace annulaire qui se trouve entre *n* et la buse *m*, dans le foyer où elle brûle. A

mesure que la poussière de charbon est expulsée de la caisse *a*, celle qui se trouve dans la trémie descend.

[L'appareil de SCHWARTZKOPFF est représenté par la figure 146. *a* est la trémie contenant le charbon pulvérulent; sa partie inférieure est fermée au moyen d'une lame élastique *c*, qui est maintenue par la vis *b* et la lame *d* portant la partie à ressort *h*; *f* est un tambour dont la périphérie est munie de brosses en fil d'acier et sur l'axe duquel est fixée une pièce

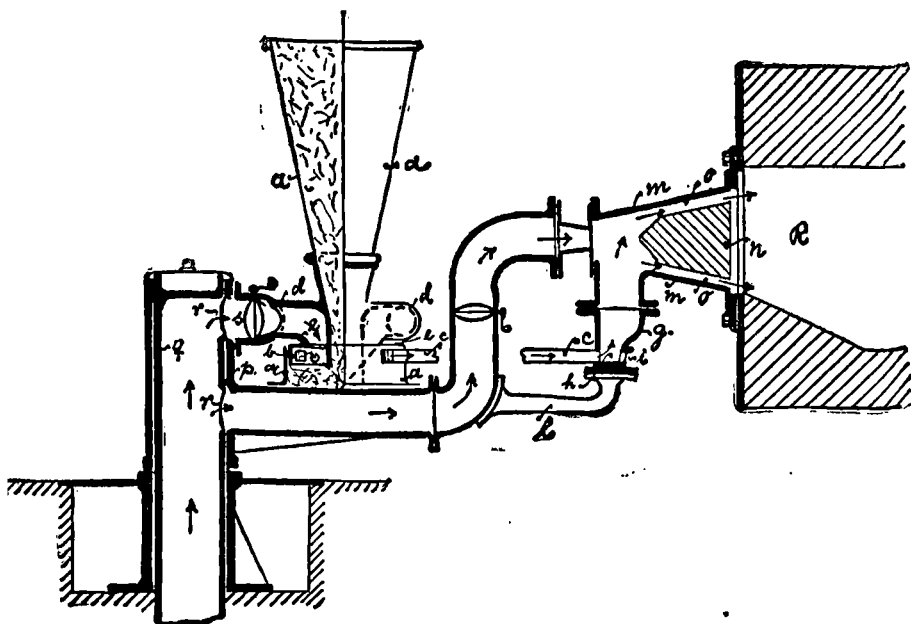


Fig. 145. — Foyer sans grille de Friedeberg.

*g*, qui à chaque tour vient heurter la partie à ressort *h*, l'écarte et permet ainsi à une certaine quantité de charbon de tomber à la partie inférieure de la trémie, d'où elle est projetée par les brosses du tambour dans le foyer *k*, où elle doit être brûlée; l'air nécessaire à la combustion pénètre par les ouvertures *m*, *n*, et *o*].

La combustion de la poussière de charbon développe une très haute température.

#### *Combustion de combustibles solides sans foyer particulier.*

Lorsqu'on brûle des combustibles solides sans foyer particulier, l'enceinte à chauffer se confond avec celle où a lieu la combustion. C'est le cas des tas, des stalles, des petits-foyers, des bas-foyers, des fours à cuve et des fours à boulanger, dont nous aurons à nous occuper ultérieurement à propos des dispositifs en usage pour l'extraction des métaux.

Dans les tas, les stalles, les petits-foyers, les bas-foyers et les fours à cuve, le combustible est en contact immédiat avec les corps à chauffer. L'air de

combustion arrive librement, comme dans les tas, les stalles, certains petits-foyers ou bas-foyers et fours à cuve, ou bien au contraire son afflux est produit à l'aide de souffleries comme dans quelques petits-foyers ou bas-foyers et fours à cuve. Dans certains cas, du combustible pulvérulent (poudre de charbon) est soufflé dans les fours avec l'air.

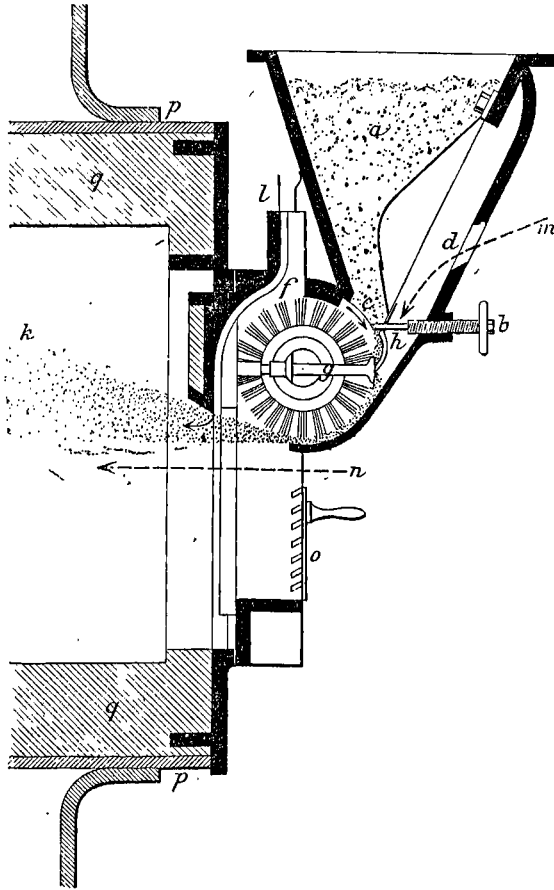


Fig. 146. — Foyer sans grille de Schwartzkopff.

Dans les fours à boulanger, le combustible n'est pas en contact immédiat avec les corps à chauffer, mais il est d'abord brûlé dans un espace voûté et il cède la chaleur développée aux parois du four. La combustion achevée, le corps à chauffer est introduit dans le four et chauffé par les parois rouges de ce dernier. On emploie ces fours pour la carbonisation de la houille et pour le grillage préliminaire des mattes (Mansfeld).

**b. — Dispositifs pour la combustion des combustibles liquides.**

Comme *combustibles liquides*, on emploie certains hydrocarbures, tels que le pétrole, le goudron et surtout les résidus liquides du raffinage du

pétrole brut ou naphte, désignés sous le nom de résidus de naphte (masut). En outre, dans quelques cas, en brûlant certains éléments contenus dans des corps fondus (silicium et phosphore dans la fonte, soufre et fer dans les mattes cuivreuses), on produit la température nécessaire pour maintenir ces corps à l'état fondu.

Le mode de chauffage avec combustibles liquides le plus fréquemment usité est le **procédé par pulvérisation**. Dans ce procédé, le liquide est pulvérisé au moyen d'un jet de vapeur ou d'air ou à l'aide de la force centrifuge, et introduit sous cette forme dans l'espace où il doit être brûlé.

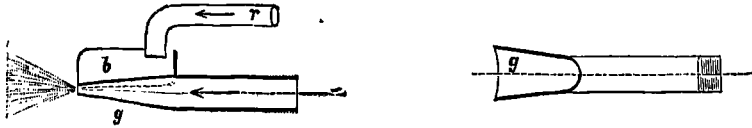


Fig. 147 et 148. — Forsunka (brûleur-pulvérisateur) de Lenz pour la combustion des résidus de naphte.

(Pour produire de hautes températures, on emploie l'air comprimé.) Par suite du tirage produit par ces jets, l'air nécessaire pour la combustion pénètre dans l'espace où celle-ci a lieu. On amène le liquide pulvérisé en combustion dans l'enceinte à chauffer ou autour de celle-ci.

Parmi les nombreux *appareils de pulvérisation* qui sont employés pour le chauffage des chaudières de distillation du naphte brut et pour celui

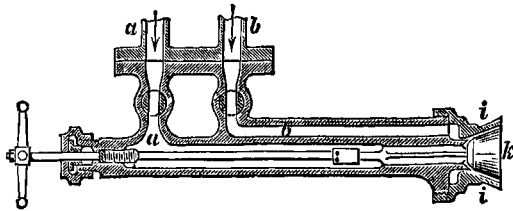


Fig. 149. — Forsunka de Brandt.

des chaudières des navires et des locomotives, ainsi que pour les usages métallurgiques, nous décrirons ceux de LENZ, de BRANDT et de TENTELEW. Ces appareils sont désignés sous le nom de *forsunkas* ou *brûleurs-pulvérisateurs*.

La forsunka de LENZ est représentée par les figures 147 et 148.

*g* est un tube de fer aplati en avant, par lequel arrive la vapeur d'eau et *r* est un autre tube, qui amène les résidus de naphte. Le tube *r* débouche dans un petit réservoir *b* ; à l'extrémité antérieure de ce dernier, le liquide coule au-dessus de l'orifice en forme de fente du tube *g*, il est pulvérisé par la vapeur s'échappant de cet orifice et ensuite brûlé. L'arrivée de la vapeur et des résidus de naphte est réglée au moyen de robinets.

Le dispositif de BRANDT (fig. 149) se compose de deux tubes en laiton, dont l'un *a* amène le liquide, l'autre *b* la vapeur d'eau. Le tube pour le

liquide porte à son extrémité un cône mobile *k*, que l'on peut faire mouvoir dans la pièce de tête *ii*, également mobile. Les résidus s'échappent par une fente annulaire dont on peut régler la largeur à l'aide du cône; tandis que la vapeur d'eau sort par une deuxième fente entourant la première. Le liquide à brûler et la vapeur d'eau se mélangent dans l'espace annu-

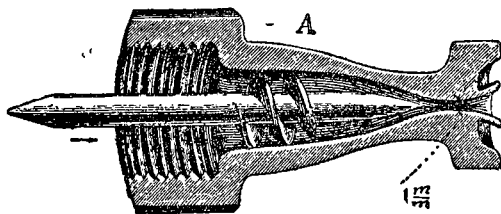


Fig. 150. — Forsunka de Tentelév.

laire qui se trouve entre le cône et la pièce *ii* et ils en sortent pour brûler sous la forme d'un faisceau de jets.

La forsunka de TENTELEW est basée sur la pulvérisation par la force centrifuge. Elle est analogue aux tuyères de pulvérisation de KÖRTING et se compose, comme le montre la figure 150, d'une pièce creuse cylindro-conique A, munie intérieurement d'une hélice.

Le naphte, préalablement filtré et chauffé à 70°-80° au moyen de vapeur introduite dans la forsunka sous une pression de 7 kilogrammes par

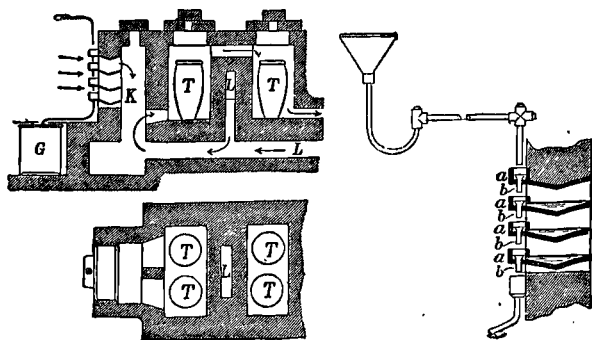


Fig. 151 à 153. — Appareil de Nobel pour la combustion du pétrole.

centimètre carré, reçoit de l'hélice renfermée en A un mouvement de rotation et est pulvérisé par la force centrifuge. La sortie du naphte est réglée au moyen d'une tige terminée par une pointe conique.

Un dispositif reposant *non pas sur le principe de la pulvérisation du combustible liquide*, mais sur la combustion des vapeurs de ce dernier, a été indiqué par L. NOBEL.

Ce dispositif est représenté par les figures 151 à 153. Il se compose d'une série de bassins ou cuvettes en fonte remplis de naphte établis les uns au-dessus des autres, dans la paroi frontale d'un four; le naphte, chauffé dans ces bassins, est vaporisé et brûlé.

Du réservoir qui le contient, le naphte coule par un tube à entonnoir dans le godet *a* du bassin supérieur et par un tube de trop-plein *b* dans le godet du deuxième bassin, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il arrive dans le godet du bassin le plus bas, duquel le naphte en excès se rend par un tuyau de trop-plein dans le réservoir collecteur *G*. Les bassins sont chauffés par la flamme des vapeurs de naphte, de sorte que le naphte qu'ils renferment se vaporise et les vapeurs ainsi produites brûlent. Une partie de l'air de combustion arrive de l'extérieur par la paroi frontale du four, l'autre est amenée par le canal *L*, où elle est réchauffée. La combustion a lieu surtout dans la chambre *K*, où se mélangent les vapeurs de pétrole et l'air. Le dispositif de NOBEL est très convenable pour la production de hautes températures. C'est pour cela qu'il est avantageux pour le chauffage des fours à creusets. [Le dispositif représenté par les figures 151 à 153 est employé pour la préparation du *fer mitis* (fer ductile fondu au creuset).]

Dans la Russie méridionale, on vaporise le naphte dans des régénérateurs de fours à réverbère, qui sont disposés pour le chauffage au gaz, et les vapeurs chauffées par leur passage à travers les régénérateurs sont conduites dans les fours où ils sont brûlés avec l'air qui y est introduit. Un dispositif basé sur ce principe sera décrit plus loin (voy. p. 290).

La combustion de certains éléments contenus dans des combinaisons métalliques fondues est produite de la manière suivante : à travers des masses fondues renfermées dans des vases particuliers (convertisseurs Bessemer dans la fabrication du fer fondu avec la fonte, dans la préparation du cuivre avec la matte cuivreuse) ou dans des fours, on fait passer de l'air divisé en nombreux jets.

### c. — Dispositifs pour la combustion des combustibles gazeiformes.

Lorsqu'on brûle des combustibles gazeux, on fait passer leur flamme dans l'enceinte qui doit être chauffée, ou bien entièrement ou partiellement autour de cette dernière. C'est pour cela qu'en général la combustion a lieu dans les espaces où la chaleur doit être utilisée ; elle est plus rarement effectuée dans des chambres de combustion séparées de ces espaces. Le dernier cas se présente, par exemple, lorsque, par suite d'une absorption rapide de la chaleur produite, la température s'abaisse au point que la combustion soit entravée, comme lors du chauffage de chaudières à vapeur et de tubes porte-vent en fer. Dans ce cas, la combustion a lieu dans une chambre étroite construite en briques réfractaires, dont les parois portées au rouge fournissent la chaleur nécessaire pour l'inflammation des gaz.

Les combustibles gazeiformes ont besoin, pour brûler, d'être mélangés avec de l'air atmosphérique et chauffés à la température d'inflammation. Cette température correspond au rouge clair (950°). Mais le mélange du gaz avec l'air ne doit s'effectuer que dans l'endroit où doit avoir lieu l'inflammation, parce que autrement il se produirait des mélanges gazeux explosibles.

La combustion est d'autant plus facile que le mélange de gaz et d'air est plus intime et que la température de ces corps est plus élevée.

Pour *mélanger* les gaz avec l'air, on les fait se rencontrer sous un certain angle (le mieux de 90°), ou bien on introduit le gaz et l'air l'un à côté de l'autre en une série de courants parallèles. Le mélange est d'autant plus intime que ces courants parallèles sont plus minces. Il est facilité par la vitesse différente des deux courants, la vitesse du courant d'air étant un peu plus faible que celle du courant gazeux. Plus le mélange de l'air et du gaz est intime, plus est rapide la combustion et plus la flamme est courte ; moins le mélange de ces corps est intime, plus est lente la combustion et plus la flamme est longue. Si l'on veut concentrer la chaleur sur un petit espace, on produira une flamme courte ; si l'on veut chauffer un grand espace, on produira une flamme longue. On atteignait autrefois le premier but en introduisant du vent soufflé dans le courant gazeux sous un certain angle et, à cet effet, on le laissait s'échapper d'une série de tuyères juxtaposées et on le faisait se croiser avec le courant gazeux. Mais, de cette façon, on obtenait seulement dans le voisinage des tuyères une haute température, qui diminuait rapidement à mesure qu'on s'éloignait de celles-ci. Actuellement, on arrive au but indiqué à l'aide du tirage d'une cheminée, en faisant croiser le courant d'air et le courant de gaz, ou bien après les avoir partagés en courants parallèles aussi nombreux que possible, en les introduisant l'un à côté de l'autre de façon qu'il y ait toujours un courant gazeux entre deux courants d'air. La combustion est alors d'autant plus rapide que la température du gaz et de l'air est plus élevée.

Pour chauffer *uniformément* un grand espace, on fait arriver le gaz et l'air en courants parallèles *épais* dans la chambre de combustion. La chaleur ainsi obtenue est d'autant plus grande et plus uniforme que le gaz et l'air de combustion sont plus chauds.

Avec des gaz chauds et de l'air réchauffé, la quantité de l'air de combustion s'élève à 10 p. 100 de plus que la quantité théoriquement nécessaire. Avec des gaz froids, il est avantageux de prendre une quantité d'air plus grande, parce que autrement la combustion est trop lente.

#### CHAUFFAGE DES GAZ ET DE L'AIR DE COMBUSTION

Pour brûler des *gaz froids*, il est nécessaire de les chauffer à la température d'inflammation. Dans ce but, on les fait passer à travers des foyers sur la grille desquels brûle un combustible et dont les parois fortement chauffées fournissent la chaleur nécessaire pour l'inflammation, ou bien on dirige les gaz dans des chambres qui renferment un système de canaux dont les parois sont portées au rouge, ou bien encore, à leur entrée dans l'espace où doit avoir lieu la combustion on mélange les gaz avec de l'air fortement chauffé. Les gaz de gazogènes et les gaz de la carbonisation de la houille qui avant leur combustion ne subissent pas de refroidissement possèdent à la sortie du gazogène ou du four à coke une température telle qu'ils s'enflamment immédiatement au contact d'air réchauffé.

Le gaz à l'eau, à son entrée dans l'enceinte où la combustion doit avoir lieu est porté à la température d'inflammation par mélange avec de l'air fortement réchauffé.

On obtient une plus haute température de combustion *en réchauffant l'air de combustion*. On produit ce réchauffement à l'aide de la chaleur de la maçonnerie du gazogène et des fours, dans lesquels a lieu la combustion, en faisant passer l'air, avant son entrée dans le four, à travers des canaux ménagés dans cette maçonnerie, ou bien au moyen des gaz de combustion sortant du four, en se servant d'accumulateurs de chaleur ou régénérateurs. Les régénérateurs sont des chambres garnies d'un treillis de briques réfractaires, dans lesquelles les gaz brûlés abandonnent, avant de passer dans la cheminée, la plus grande partie de leur chaleur. Le treillis de briques des chambres absorbe cette chaleur et la transmet à l'air destiné à brûler le combustible gazeux. Il faut pour cela deux régénérateurs, par

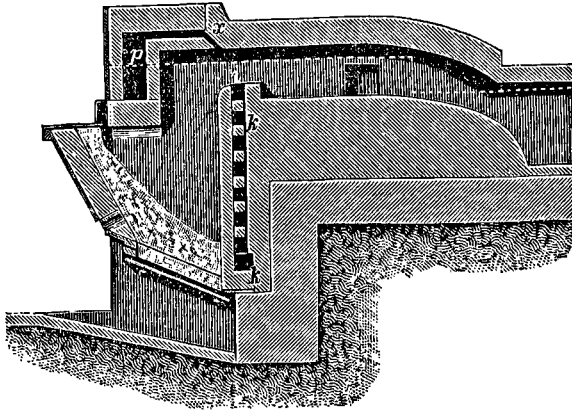


Fig. 154. — Four de Boëtius ; coupe verticale suivant la longueur.

lesquels ont fait passer alternativement les gaz brûlés et l'air, et de façon que l'air traverse le régénérateur *chauffé*, pendant que les gaz brûlés passent à travers le régénérateur *à chauffer*. Les récupérateurs sont des chambres dans lesquelles les gaz brûlés, en se rendant à la cheminée, passent autour de canaux, où est réchauffé l'air pour la combustion des gaz. On emploie les régénérateurs et les récupérateurs lorsqu'il s'agit de la production de hautes températures.

Parmi les dispositifs dans lesquels l'air est réchauffé dans des canaux ménagés dans la maçonnerie des gazogènes ou du four, nous citerons les fours de Boëtius et de Bicheroux.

#### Four de Boëtius.

Le four de Boëtius, dont le gazogène a déjà été décrit (p. 244), est représenté par les figures 154 et 155.

L'air monte, par les carnaux *k*, dans la paroi postérieure, ainsi que, par les carnaux *o*, dans les parois latérales.

De la paroi postérieure, l'air pénètre dans le four par les ouvertures *l*.

L'air qui a monté dans les parois latérales par les carnaux *o*, passe d'abord dans les deux carnaux *p*, et de ceux-ci dans le four, par la fente oblique *x*.



Le gaz du gazogène pénètre dans le four entre les deux courants d'air. Ce dispositif donne de bons résultats et est toujours employé.

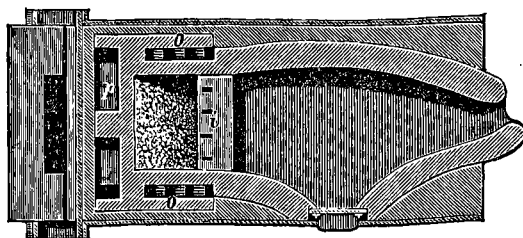


Fig. 153. — Four de Boëtius; coupe horizontale.

#### Four de Bicheroux.

Dans le four de BICHEROUX, dont le gazogène a déjà été décrit (p. 244), le réchauffage de l'air a lieu dans la maçonnerie du four. La disposition des carneaux par lesquels l'air est amené est assez variée. Mais finalement

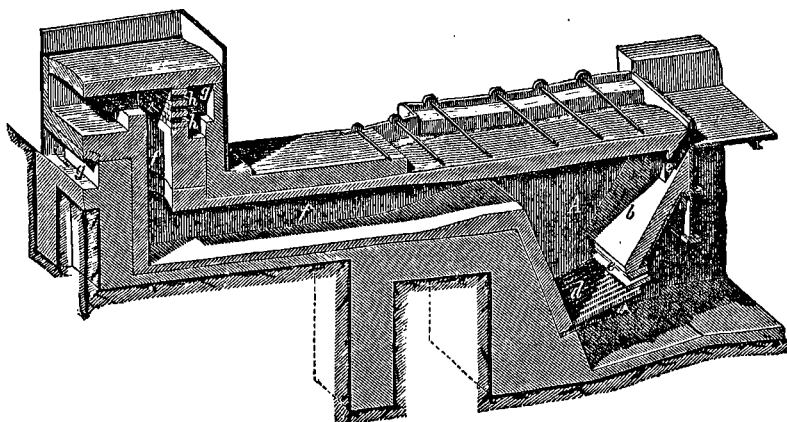


Fig. 156. — Four de Bicheroux.

ces carneaux débouchent dans un canal qui se trouve derrière le pont de chauffe du four. Un four de cette espèce est représenté par la figure 156. L'air entre par le carneau *g* et, par la fente *h*, il vient se mélanger avec le gaz montant dans le canal *f*.

#### Dispositifs avec régénérateurs.

On emploie les dispositifs avec *accumulateurs de chaleur* ou *régénérateurs* pour obtenir de hautes températures. On chauffe dans les régénérateurs soit le gaz et l'air, soit l'air seulement. Dans le dispositif de SIEMENS, le gaz et l'air sont chauffés, tandis que dans les autres appareils (à l'exception du dispositif à récupérateur dans lequel le gaz peut aussi être chauffé), l'air seul est réchauffé.

## Appareil de Siemens.

Il est basé sur l'utilisation de la chaleur des gaz sortant de l'espace où a eu lieu la combustion pour le réchauffage du gaz à brûler et de l'air de combustion. Dans ce but, on fait passer les produits de combustion gazeux sortant des fours, avant leur entrée dans la cheminée, à travers des chambres garnies d'un treillis de briques, désignées sous le nom d'accumulateurs de chaleur ou de régénérateurs. En traversant ces chambres, les gaz en question abandonnent la majeure partie de leur chaleur aux briques et chauffent ainsi celles-ci au-dessus de la température d'inflammation du gaz de gazogène. Si maintenant, après un temps déterminé, on interrompt le passage des gaz à travers les régénérateurs et si en direction inverse on fait passer l'air à travers une chambre, le gaz à travers l'autre chambre, ces corps sont chauffés assez fortement pour que, lors de leur réunion dans le four, le gaz s'enflamme et brûle immédiatement. Afin que, pendant ce temps, la combustion ne soit pas interrompue, on fait passer le courant des produits de combustion gazeux à travers une seconde paire de régénérateurs, qui se trouve sur le côté opposé du four et qui est également chauffée au-dessus de la température d'inflammation du gaz. Après un certain temps, pendant lequel la première paire de régénérateurs a abandonné une partie de sa chaleur au gaz et à l'air, tandis que la deuxième a absorbé une grande partie de la chaleur des gaz brûlés, on envoie le gaz de gazogène et l'air dans le four, en leur faisant traverser la seconde paire de régénérateurs, les gaz brûlés étant de nouveau dirigés dans la cheminée par la première paire de régénérateurs.

Le renversement de la direction des courants, du gaz de gazogène et de l'air d'une part, des gaz brûlés d'autre part, est effectué au moyen de dispositifs particuliers. Ce renversement a lieu à des intervalles d'une demi-heure à une heure, et il est d'autant plus fréquent que les régénérateurs sont plus petits. En faisant passer les gaz brûlés tantôt par la première, tantôt par la seconde paire de régénérateurs, avant leur entrée dans la cheminée, de même qu'en faisant traverser au gaz et à l'air de combustion, avant leur pénétration dans le four, tantôt la seconde, tantôt la première paire de régénérateurs, on arrive à chauffer d'une façon continue le gaz de gazogène et l'air de combustion. Comme, par suite de la continuité du renversement du courant des gaz brûlés, les régénérateurs absorbent des quantités de chaleur de plus en plus grandes, le gaz et l'air sont également chauffés de plus en plus fortement, et par suite de cela la température de combustion va aussi toujours en augmentant. Mais cette augmentation est limitée par la fusibilité des briques des régénérateurs et par la dissociation des produits de combustion gazeux. On règle la température en augmentant ou en diminuant les quantités d'air et de gaz à introduire dans les régénérateurs.

Pour maintenir le tirage de la cheminée, il faut que les gaz se rendant des régénérateurs dans cette dernière aient encore une température de 200° environ.

On emploie le dispositif de SIEMENS pour les procédés qui exigent une haute température et un travail continu, mais dans lesquels on n'a pas à

craindre une obstruction des vides entre les briques des régénérateurs. Ce dispositif exige aussi l'élimination préalable du goudron des gaz de gazogènes, parce que, sans cette précaution, ce dernier (de même que les

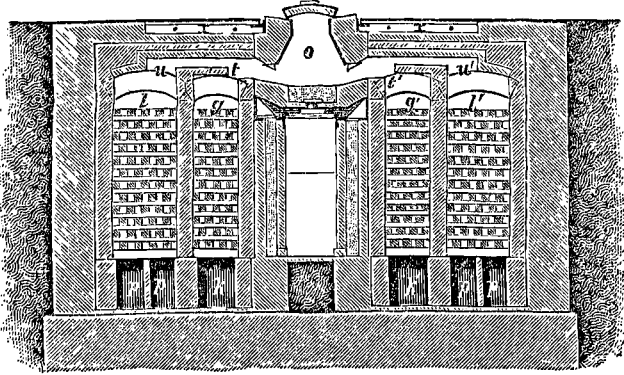


Fig. 157. — Four avec régénérateurs Siemens; coupe longitudinale.

hydrocarbures lourds) obstruerait les carneaux des régénérateurs, en donnant lieu à des dépôts de carbone.

Le régénérateur de SIEMENS, tel qu'il est employé pour les fours de fusion de l'acier, est représenté par les figures 157 à 160. *o* est le four propre-

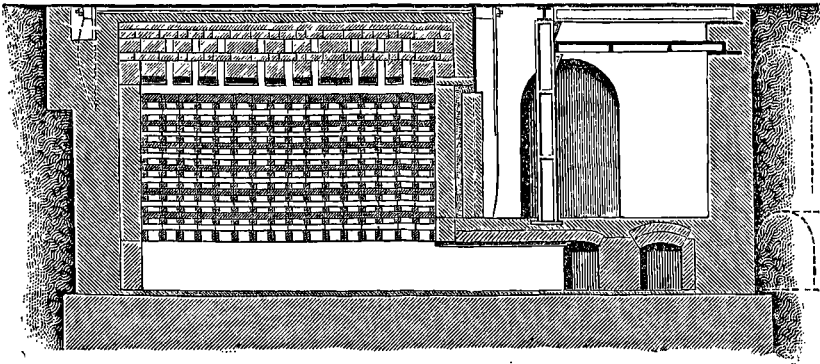


Fig. 158. — Régénérateur Siemens; coupe longitudinale.

ment dit. De chaque côté de ce dernier est établie une paire de régénérateurs. *g* et *g'* sont les régénérateurs par lesquels passe alternativement le gaz se rendant dans le four, *l* et *l'* les régénérateurs que traverse alternativement l'air de combustion avant son entrée dans le four. Ces derniers sont plus grands que les premiers.

Les régénérateurs sont garnis de briques réfractaires placées en croix les unes sur les autres. L'espace entre deux briques voisines correspond à l'épaisseur d'une brique, de sorte que la moitié de la capacité du régénérateur demeure libre pour le passage des gaz.

L'air entre dans le four par les fentes  $u$  et  $u'$ , le gaz par  $t$  et  $t'$ . Comme l'air pénètre dans le four au-dessus du gaz, et comme celui-ci est plus léger que l'air, le mélange des deux corps se trouve favorisé. Les gaz brûlés passent en même temps du côté opposé du four par la fente de l'air  $u'$

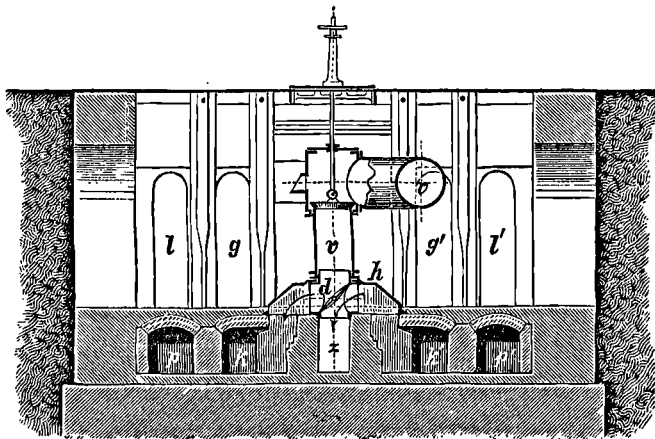


Fig. 159. — Régénérateur Siemens ; valve de renversement du gaz.

et par la fente du gaz  $t'$  dans les deux régénérateurs, qui sont placés au-dessous de ces fentes, ils arrivent à l'extrémité inférieure de ces derniers dans les carneaux  $k'$  et  $p'$  et de ceux-ci dans la cheminée.

Le renversement du courant est produit au moyen de deux dispositifs.

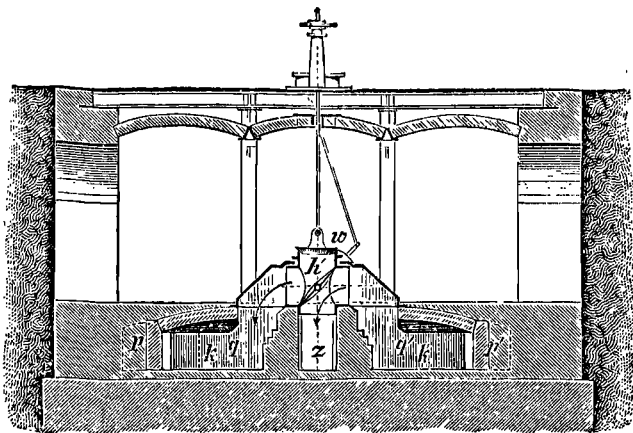


Fig. 160. — Régénérateur Siemens ; valve de renversement de l'air.

Le gaz arrive par l'un de ces dispositifs, l'air par l'autre, tandis que les gaz brûlés sont dirigés dans la cheminée par les deux dispositifs.

Le dispositif de renversement du gaz est représenté dans la figure 159, et le dispositif de renversement de l'air par la figure 160.

Le dispositif de renversement du gaz, tel qu'il était autrefois généralement employé, se compose d'un chapiteau en fonte *h*, qui communique d'une part avec les carneaux *k* et *k'* (amenant le gaz dans les régénérateurs à gaz correspondants), d'autre part avec le conduit *v* amenant le gaz et enfin avec le canal *z* aboutissant à la cheminée. Au moyen d'une valve *d*, qui se trouve à l'intérieur de *h*, on établit la communication simultanée de l'un des régénérateurs *g'* avec le canal *z* conduisant à la cheminée, de l'autre régénérateur *g* avec le tube d'amenée du gaz ou inversement la communication simultanée de *g* avec la cheminée, et de *g'* avec le tube amenant le gaz. Si, par conséquent, la valve occupe la position indiquée sur le dessin, le gaz, du tube qui l'amène, passe par le canal *k* et le régénérateur *g* dans le four, tandis que les produits de combustion gazéiformes,

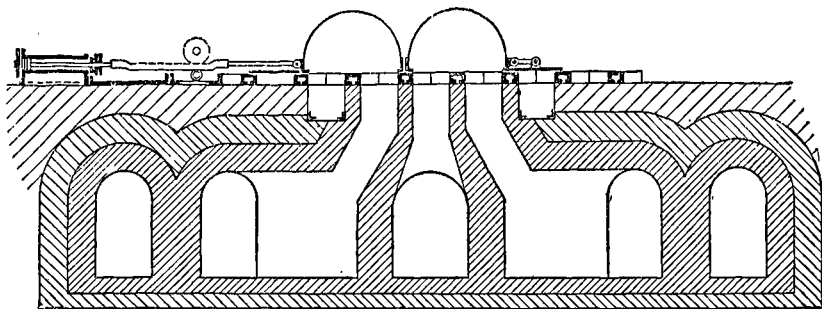


Fig. 161. — Soupape à coquille de Schmidhammer.

s'ils ne passent pas par le régénérateur à air *l'*, se rendent par le deuxième régénérateur à gaz *g'* et le carneau *k'*, au-dessous de la valve, dans le conduit aboutissant à la cheminée.

Si à l'aide d'un levier adapté à l'axe horizontal de rotation de la valve, ou à l'aide d'un tirant fixé à cet axe, on tourne la valve de 90°, les gaz et les produits de la combustion suivent la voie inverse.

Le dispositif de renversement de l'air est analogue au précédent. Le chapiteau *h'* (fig. 160), est en communication d'une part avec l'air, d'autre part avec deux carneaux *q* et *q'*, qui débouchent dans les régénérateurs correspondants et enfin avec le conduit aboutissant à la cheminée. Au moyen de la valve qui se trouve dans le chapiteau *h'*, on établit d'une part la communication de l'air, qui peut être fermée par la soupape *w*, avec l'un des régénérateurs, d'autre part la communication du deuxième régénérateur avec la cheminée, tandis qu'en la tournant de 90°, on fait communiquer le deuxième régénérateur à air avec l'air et le premier régénérateur à air avec la cheminée.

Par conséquent, en tournant simultanément les valves de 90° dans les deux chapiteaux, on renverse la direction des courants, sans qu'il se produise d'interruption dans le chauffage du four. L'entrée de l'air et du gaz est réglée au moyen de soupapes adaptées sur les tuyaux amenant le gaz et l'air.

Les valves sont exposées à l'action du gaz chaud sortant du four et, par suite de cela, finissent par ne plus fermer exactement. Afin d'éviter

cet inconvénient et les pertes de gaz qui en résultent, on a employé des soupapes à guide, ainsi que des soupapes à coquille. Une soupape à coquille de SCHMIDHAMMER est représentée dans la figure 161<sup>1</sup>.

La conduite, qui des gazogènes établis à une certaine distance du four, amène le gaz à l'appareil de renversement, s'élève d'abord verticalement au-dessus des gazogènes, elle devient ensuite horizontale jusqu'au four, après quoi elle descend verticalement jusqu'au chapiteau du dispositif de renversement. Grâce à cette disposition, on produit la condensation du goudron, dont sans cela le carbone se séparerait et obstruerait les régénérateurs, mais en même temps on refroidit le gaz. Par ce refroidissement, il se perd 30 p. 100 de la chaleur de combustion du gaz.

Cette perte de chaleur, ainsi que les frais élevés que nécessite l'établissement du dispositif et la possibilité de l'obstruction des régénérateurs à gaz par du carbone séparé de ces derniers constituent les côtés faibles du chauffage d'après le système de SIEMENS, et ces inconvénients sont si grands que maintenant on préfère souvent des dispositifs dans lesquels *l'air seul est réchauffé dans des récupérateurs* et le gaz amené avec sa chaleur propre, du gazogène établi immédiatement à côté du four, dans l'espace où il doit être brûlé. Le four de PÜSTCH, par exemple, est disposé d'après ce principe.

#### Four de Püstch<sup>2</sup>.

Le four de Püstch qui, comme on vient de le dire, est disposé d'après le principe du chauffage de l'air de combustion dans des régénérateurs, est représenté par les figures 162 et 163.

G est le gazogène, O est le four,  $w^1$  et  $w^2$  sont deux régénérateurs.

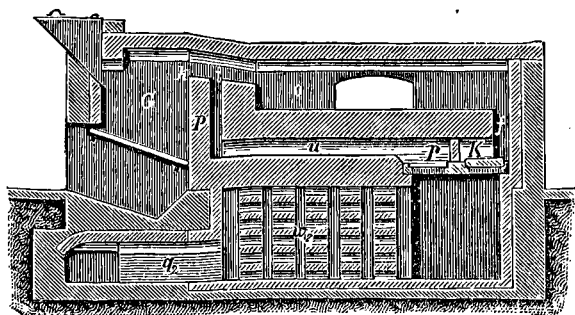


Fig. 162. — Four de Püstch; coupe verticale.

Du gazogène, les gaz se rendent, par le canal  $k$  qui se trouve au-dessus de la fente  $i$ , dans le four, où ils se mélangent avec l'air de combustion réchauffé arrivant par  $i$ . Les gaz brûlés passent du four, par le carneau  $f$ , dans une chambre de distribution  $K$ . Celle-ci communique par les ouver-

<sup>1</sup> BECKERT, *loc. cit.*, p. 121.

<sup>2</sup> Breyet allemand n° 1034.

tures  $r^1$  et  $r^2$ , qui peuvent être fermées de l'extérieur au moyen de registres, avec les régénérateurs  $w^1$  et  $w^2$ .

Suivant la position des registres, les gaz brûlés passent dans l'un ou dans l'autre des régénérateurs et, après y avoir abandonné la majeure partie de leur chaleur, ils se rendent par les carneaux  $q^1$  ou  $q^2$  dans la cheminée. La communication de ces carneaux avec le conduit aboutissant à la cheminée est établie ou supprimée à l'aide de la valve  $t$ .

L'air de combustion pour le gaz de gazogène est aspiré par un conduit

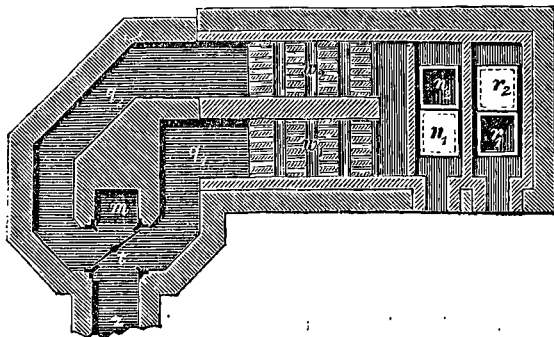


Fig. 163. — Four de Pütsch; coupe horizontale.

vertical  $m$ , qui à l'aide de la valve  $t$ , peut être mis en communication avec l'un ou avec l'autre des régénérateurs. L'air traverse le régénérateur mis en communication avec le conduit  $m$ , puis à son extrémité supérieure, il pénètre dans l'espace  $P$ , par les ouvertures  $n^1$  et  $n^2$ , dont une seule est ouverte, l'autre étant maintenue fermée au moyen d'un registre; passant ensuite par le carneau  $u$  et la fente  $i$ , il arrive dans le four.

A l'aide de ce dispositif, on obtient également de hautes températures.

Dans le nouveau dispositif de SIEMENS, dans lequel le charbon est en partie gazéifié par l'acide carbonique des gaz brûlés, on ne réchauffe aussi que l'air de combustion.

#### Fours à récupérateurs.

Dans ces dispositifs, les gaz brûlés sortant, sans interruption de l'enceinte où s'est effectuée la combustion, sont séparés par des cloisons de l'air de combustion arrivant également sans interruption en direction opposée dans l'enceinte de combustion. Les parois chauffées par les gaz brûlés abandonnent leur chaleur à l'air de combustion. Le chauffage a lieu dans une chambre traversée par des carneaux dont les uns livrent passage au gaz à brûler et les autres à l'air de combustion; on donne à cette chambre le nom de **récupérateur**. De même que l'air, le gaz peut aussi être chauffé dans le récupérateur.

Les dispositifs avec récupérateurs ont sur les appareils avec régénérateurs cet avantage que le renversement du courant d'air ou de gaz est supprimé.

Un ancien four à récupérateur employé en France a été indiqué par PONSARD.

Dans ce dispositif, les carneaux sont disposés de façon qu'un carneau

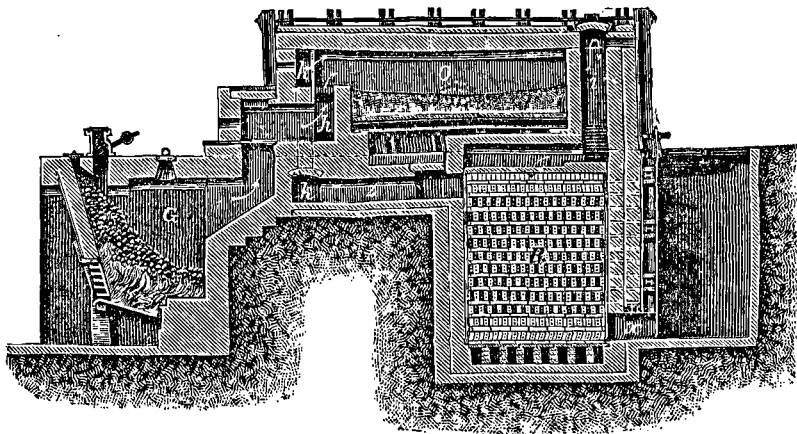


Fig. 164. — Four Ponsard avec gazogène et récupérateur.

à air soit toujours entouré de quatre carneaux, par lesquels descendent les gaz brûlés. Ces derniers carneaux sont ouverts en haut et en bas, tandis

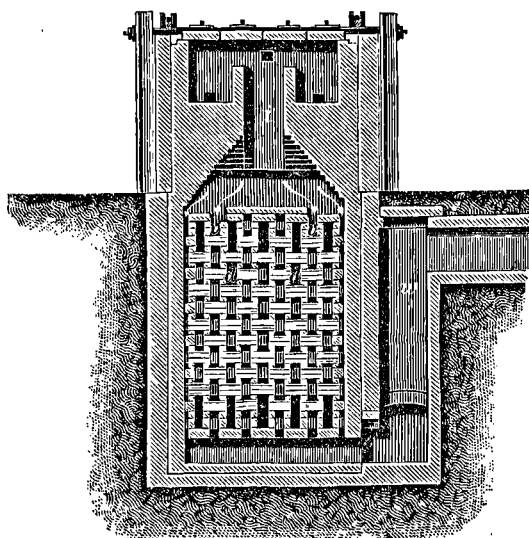


Fig. 165. — Récupérateur du four Ponsard.

que les carneaux à air, afin d'empêcher l'introduction d'air dans les carneaux abducteurs des gaz brûlés, sont fermés en haut et en bas. L'entrée de l'air froid dans les carneaux et la sortie de ces derniers de l'air chauffé



ont donc lieu aux extrémités inférieure et supérieure des parois latérales du récupérateur. Afin de rendre les surfaces de contact entre l'air et les gaz brûlés aussi grandes que possible, et de ralentir le passage de l'air et des gaz à travers les carneaux, les carneaux à air, aussi bien que les car-

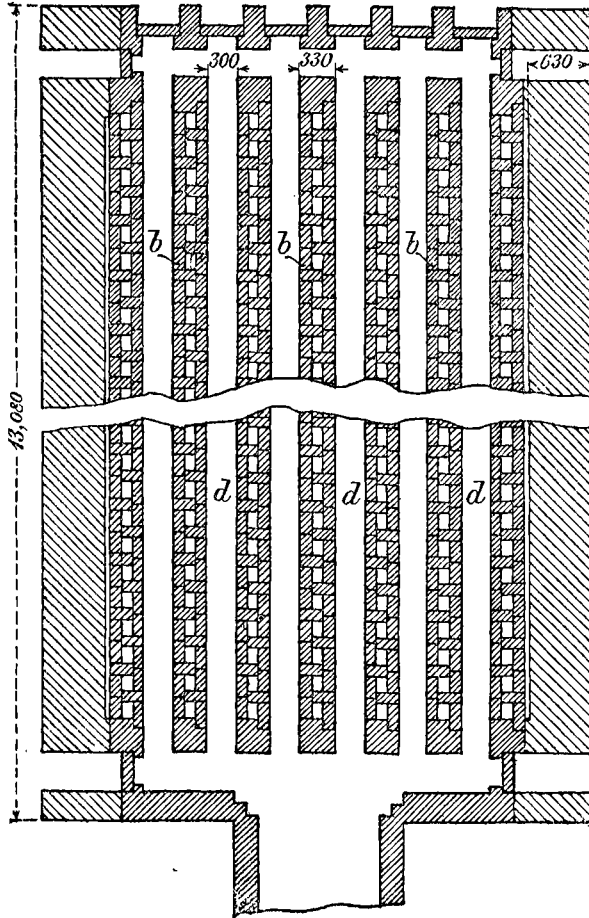


Fig. 166. — Récupérateur de Lürmann; coupe horizontale.

neaux à gaz (les carneaux pour les gaz brûlés) sont reliés deux à deux par des carneaux horizontaux. Ces carneaux horizontaux sont ménagés dans des briques réfractaires qui sont fixées entre les carneaux verticaux et munies, afin d'augmenter leur résistance, de cloisons intérieures.

Les figures 164 et 165 représentent la disposition d'un four de PONSARD avec son gazogène et son récupérateur. G est le gazogène, O le four dans lequel a lieu la combustion, R le récupérateur. Du gazogène, les gaz se rendent par *h* dans le four, où ils se mélangent avec l'air chauffé arrivant par *k* au-dessus d'eux. Les gaz brûlés passent par *i* dans le récupérateur-

rateur, traversent ses carneaux à gaz  $v$  de haut en bas et, par le conduit  $w$ , se rendent dans la cheminée. L'air arrive par  $x$  dans les carneaux  $d$  (carneaux à air), les traverse de bas en haut, sort réchauffé en  $z$  et pénètre, par  $k$ , dans le four au-dessus des gaz du gazogène.

Les minces parois de briques des différents carneaux du récupérateur de PONSARD ont le grave inconvénient de se fissurer facilement, et alors l'air s'introduit dans les carneaux à gaz et passe avec l'air brûlé dans la cheminée.

[Dans le récupérateur de LÉNCAUCHEZ, de construction plus simple que celui de PONSARD, l'air réchauffé monte dans des carneaux verticaux, tandis que les gaz brûlés circulent dans des carneaux horizontaux superposés.]

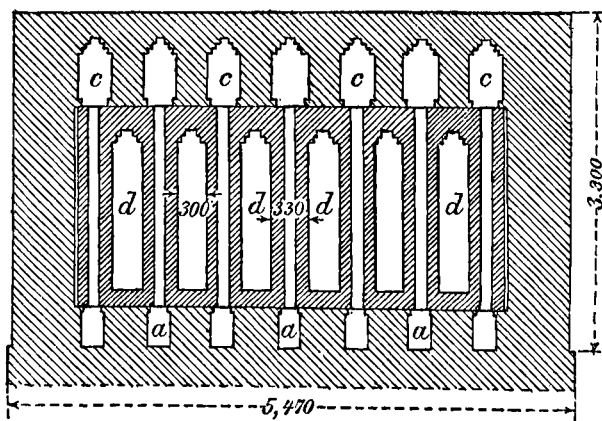


Fig. 167. — Récupérateur de Lürmann; coupe verticale.

Dans ces derniers temps, on a construit des fours à récupérateur offrant une meilleure disposition et qui sont de plus en plus employés. Tels sont, par exemple, les fours de LÜRMAN, de DAELÉN et BLEZINGER, de PIETZKA.

Le récupérateur de LÜRMAN est représenté par les figures 166 et 167<sup>1</sup>. C'est une chambre en briques réfractaires, dans laquelle se trouvent des carneaux pour le passage des gaz brûlés et pour celui de l'air de combustion. Les gaz brûlés se rendant à la cheminée traversent les carneaux horizontaux  $d$ , aux parois desquels ils cèdent de la chaleur. L'air entre par les carneaux horizontaux  $a$ , passe de ceux-ci dans les carneaux verticaux  $b$ , où il monte et est réchauffé, et il pénètre ensuite dans les carneaux horizontaux  $c$ , qui le conduisent dans l'enceinte où a lieu la combustion. Les carneaux  $b$  ont  $165 \times 220$  millimètres de section. Les carneaux  $d$  ont 300 millimètres de largeur.

Le récupérateur de LÜRMAN a trouvé emploi dans des verreries, où il donne de bons résultats.

Dans le récupérateur de DAELÉN et BLEZINGER<sup>2</sup>, qui est représenté par les

<sup>1</sup> *Stahl und Eisen*, 1893, p. 464.

<sup>2</sup> BECKERT, *loc. cit.*

figures 168 et 169, les gaz brûlés circulent alternativement de bas en haut et de haut en bas dans des tuyaux en argile réfractaire de 25 à 30 millimètres d'épaisseur de paroi, tandis que l'air de combustion circule autour de ces tuyaux. De même que l'air de combustion, le gaz peut aussi être réchauffé, dans lequel cas deux récupérateurs sont nécessaires. Si l'air et le gaz sont réchauffés, une petite portion du gaz et de l'air chauffés est amenée

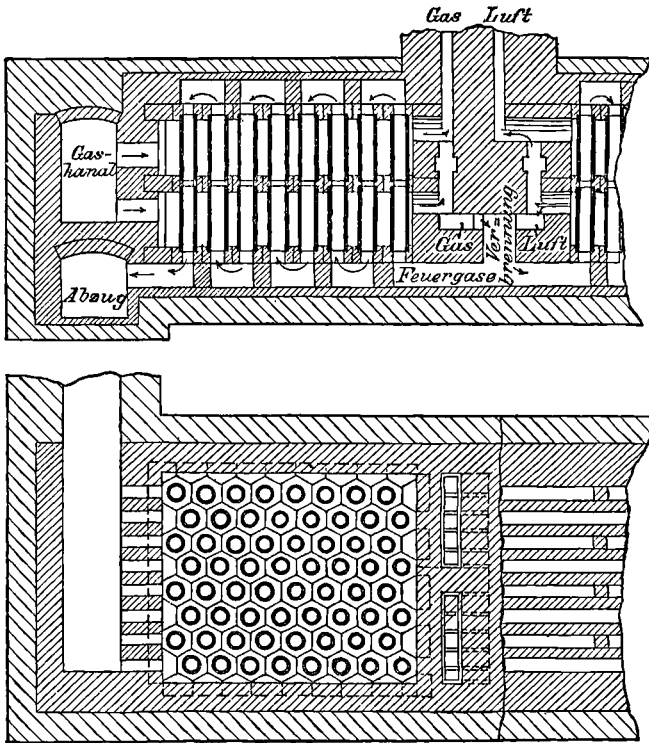


Fig. 168 et 169. — Récupérateur de Daelen et Blezinger; coupes verticale et horizontale.

*Abzug* = Canal d'appel.  
*Feuergase* = Gaz brûlés.  
*Cas* = Gaz.

*Gaskanal* = Canal pour le gaz.  
*Luft* = Air.  
*Verbrennung* = Combustion.

dans une chambre de combustion, qui se trouve devant les deux récupérateurs. Les gaz brûlés servent ensuite pour le chauffage des récupérateurs.

Dans le récupérateur de PIETZKA, les tubes sont horizontaux et ils sont traversés par les gaz à chauffer, tandis que les gaz brûlés, venant de la chambre de combustion, circulent autour de ces tubes.

#### Dispositifs de chauffage au gaz à l'eau.

Dans les dispositifs de chauffage à l'aide du gaz à l'eau, l'air est réchauffé dans des régénérateurs assez fortement pour que le gaz, lors de

son mélange avec lui, soit immédiatement porté à la température d'inflammation.

On fait rencontrer l'air et le gaz (ce dernier étant amené par des buses) sous un angle de 90°. Les régénérateurs pour le chauffage de l'air sont disposés comme ceux qui ont été décrits précédemment.

#### Dispositifs de chauffage aux hydrocarbures.

On a aussi recours dans le chauffage par les *hydrocarbures gazeux naturels* (Pittsburg, en Pensylvanie; voy. p. 178) au réchauffage de l'air de combustion par des régénérateurs, et alors on le fait arriver au contact du gaz non chauffé.

#### Chauffage par les vapeurs de combustibles liquides.

[Le principe des fours à gaz avec régénérateurs a été aussi appliqué, comme on l'a déjà dit (p. 276), aux *combustibles liquides*. Dans le dis-

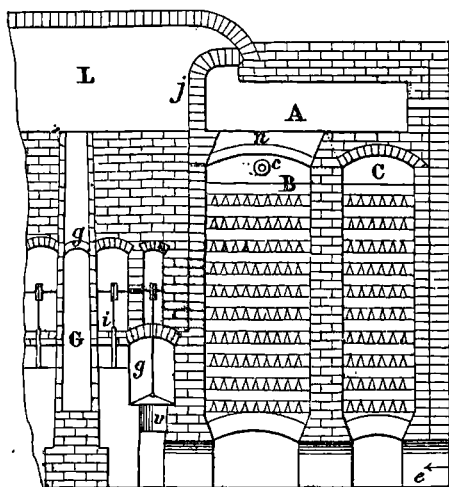


Fig. 170. — Four à régénérateurs pour le chauffage par les vapeurs de pétrole.

positif de KROUPSKI, le pétrole employé pour le chauffage est vaporisé ou gazéifié, non pas dans un gazogène, comme dans les fours à gaz ordinaires, mais dans les chambres régénératrices. Ce four, qui a été construit spécialement pour la fusion du verre, mais qui peut également servir de four métallurgique (par exemple, pour l'opération Martin), est muni, comme le four SIEMENS décrit précédemment, de quatre chambres de régénération, dont deux à droite et deux à gauche.

La figure 170 représente la moitié droite de l'appareil, que nous considérerons seule, l'autre moitié étant identique. Les chambres B et C ont, comme on le voit, des capacités inégales, B étant la plus grande. C'est dans cette dernière chambre qu'est amené le pétrole, qui est envoyé sous pression par l'ouverture c; les briques qui garnissent le régénérateur B

étant supposées incandescentes, le pétrole se décompose immédiatement au contact des rangées supérieures de briques et de l'air arrivant par *e*. Les gaz et les vapeurs enflammés passent entre les arceaux *n*, dont B est muni à sa partie supérieure, pénètrent dans la chambre de combustion A et de là, par la grille formée par les arceaux *j*, dans le laboratoire du four L. La chambre C, qui se trouve à côté de B et est échauffée par celle-ci par conductibilité, reçoit également de l'air par *e*, qui, la parcourant de bas en haut, arrive, après s'être réchauffé, dans la chambre de combustion A ; celle-ci est séparée de C de la même manière que de B, c'est-à-dire par des arceaux, mais qui sont en ordre alterné avec ceux de B. L'air chaud venant de C achève la combustion des éléments non brûlés contenus dans la chambre A. Les produits de la combustion sortant du laboratoire L se rendent dans la cheminée, après avoir traversé les deux chambres de gauche semblables à B et C et cédé aux briques qu'elles renferment le reste des calories encore disponibles.

Quand les chambres de gauche ont atteint la température nécessaire, on précède au renversement des rôles de chacun des groupes, ce qui a lieu à peu près toutes les demi-heures. Dans ce but, on supprime d'abord l'arrivée du pétrole dans la chambre B et on le dirige dans la chambre de gauche correspondante, puis on ferme l'entrée d'air *e*, pour ouvrir celle de l'autre groupe ; en même temps, on remonte le registre *v*, qui était baissé pendant que le groupe droit marchait en combustion. Les produits brûlés se rendent alors, l'ouverture *e* étant fermée, dans la chambre *g*, d'où ils passent dans l'atmosphère, par la cheminée qui communique avec *g*. Pendant que fonctionne le groupe droit, on peut rendre le chauffage plus intense dans le laboratoire L en relevant la valve *i*, de façon à faire passer par des carneaux latéraux une partie de la flamme de la gaine G, pourvue en *g* d'un certain nombre d'arceaux, formant une grille et débouchant dans le fond du laboratoire.]

## B. — Dispositifs à l'aide desquels l'air est amené au combustible et les produits gazeux de la combustion sont entraînés.

Les cheminées ou les appareils refoulant ou aspirant l'air sont des dispositifs de ce genre. On emploie les cheminées pour la plupart des appareils de chauffage à combustibles solides ou gazeux. Les dispositifs refoulant ou aspirant l'air sont employés lorsqu'on brûle des combustibles solides dans des fours à cuve ou des bas-foyers et dans les cas où le vent doit être soufflé ou aspiré par les intervalles entre les barreaux de la grille.

### Cheminée.

On désigne sous le nom de **cheminée** un conduit ascendant, ordinairement vertical, qui communique à son extrémité inférieure avec un foyer et à son extrémité supérieure avec l'atmosphère. Elle est destinée, d'une part, à éliminer du foyer les produits gazeux de la combustion, et, d'autre part, à provoquer l'afflux d'air frais sur les combustibles, s'il s'agit de combustibles solides, ou de gaz frais et d'air frais, s'il s'agit de combustibles gazeux. Son action est basée sur ce fait, que les produits de com-

bustion chauds, qui du foyer montent dans la cheminée, y sont refoulés par la pression de l'air ou des gaz à brûler plus froids et plus lourds, et sont ainsi forcés d'en sortir pour s'échapper dans l'atmosphère.

Cet appel d'air et de gaz par la cheminée est désigné sous le nom de *tirage*, et l'on nomme *énergie* ou *intensité du tirage* la quantité d'air que la cheminée aspire en une seconde. Si l'on désigne cette quantité par  $Q$ , la vitesse de l'air dans la cheminée par  $v$ , la section de la cheminée par  $s$ , le poids du volume de l'air à la température de la cheminée par  $d'$ , on a :

$$Q = v s d'.$$

La vitesse  $v$  est, comme pour les liquides,  $= \sqrt{2 hg}$ . En hydrostatique, on désigne par  $h$  la hauteur du liquide, par  $g$  l'accélération due à la pesanteur. Dans le cas présent,  $h$  est égale à la hauteur de la colonne d'air dont s'accroîtrait une colonne d'air froid de la hauteur de la cheminée, se trouvant en dehors de celle-ci, si elle était chauffée à la température de la colonne d'air dans la cheminée. Si l'on désigne par  $L$  la colonne d'air froid de la hauteur de la cheminée, par  $\alpha$  le coefficient de dilatation de l'air pour un échauffement de  $1^\circ$  C. (comme on le sait, la dilatation de l'air par chaque degré centigrade  $= 1/273$  de son volume, à  $0^\circ = 0,00360$ ), par  $t'$  la température dans la cheminée et par  $t$  la température de la colonne d'air froid en dehors de la cheminée,  $\alpha t$  (température de l'air en dehors de la cheminée multipliée par  $0,00360$ ), est, comme le montre un calcul simple :

$$h = \frac{L \alpha (t' - t)}{1 + \alpha t},$$

très petit et peut être négligé, de sorte qu'on obtient :

$$h = L \alpha (t' - t)$$

Si l'on introduit cette valeur dans la formule

$$v = \sqrt{2gh}, \text{ on a } v = \sqrt{2g \alpha L (t' - t)}.$$

Si l'on désigne le poids du volume de l'air à  $0^\circ$  par  $d^0$ , la température de celui-ci dans la cheminée par  $t'$ , le poids du volume de l'air à la température de la cheminée par  $d'$ , on déduit par un calcul simple,

$$d' = \frac{d^0}{1 + \alpha t'};$$

en introduisant les valeurs de  $v$  et de  $d'$  dans la formule précédente :

$$Q = v s d',$$

on obtient :

$$Q = s d^0 \frac{\sqrt{2g \alpha L (t' - t)}}{1 + \alpha t'};$$

si dans cette formule on désigne  $s d^0 \sqrt{2g \alpha}$  par  $K$ , on a :

$$Q = K \sqrt{L} \left( \frac{\sqrt{t' - t}}{1 + \alpha t'} \right).$$

L'énergie du tirage (Q) de la cheminée est d'après cela proportionnelle à  $\sqrt{L}$  et  $\frac{\sqrt{t'-t}}{1 + \alpha t'}$ , c'est-à-dire proportionnelle à la racine carrée de la différence des températures de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de la cheminée, cette valeur étant divisée par  $1 + \alpha t'$ , c'est-à-dire par  $1 +$  le produit de la multiplication du coefficient de dilatation de l'air sous l'influence de la chaleur par la température de la cheminée.

Si nous considérons d'abord l'expression  $\sqrt{L}$ , nous voyons que l'énergie du tirage de la cheminée ne croît avec la hauteur que proportionnellement à la racine carrée de celle-ci, par conséquent en proportion défavorable. Au contraire, le frottement du courant gazeux sur les parois de la cheminée et les pertes de chaleur par rayonnement croissent en raison directe de la hauteur de la cheminée. Il doit y avoir, par suite, pour cette hauteur une limite au-dessus de laquelle le rendement de la cheminée n'augmente plus. L'expérience a montré que c'est à 50 mètres que se trouve cette limite.

On ne donne aux cheminées une plus grande hauteur que lorsqu'elles sont destinées à entraîner des gaz délétères dans des couches atmosphériques aussi élevées que possible. En général, la hauteur des cheminées varie entre 10 et 60 mètres, suivant la vivacité de combustion désirée, l'épaisseur de la couche de combustible, la somme des résistances à surmonter jusqu'au pied de la cheminée et la température des gaz de celle-ci. (Ainsi, on donne aux cheminées des fours à réchauffer avec combustion peu vive et faibles résistances de frottement 10 mètres de hauteur; aux fours à souder et à puddler 15 mètres, et lorsqu'on utilise le gaz sortant des fours, pour le chauffage d'autres dispositifs [récupérateurs de chaleur, chaudières à vapeur] on va jusqu'à 20-30 mètres). D'après REDTENBACHER, la hauteur de la cheminée pour les chaudières à vapeur est déduite des chiffres groupés dans le tableau suivant, H indiquant la hauteur de la cheminée au-dessus de la surface supérieure de la grille, d sa largeur supérieure et N la force de la chaudière en chevaux :

H	d	N
16	0,43	18
21	0,57	35
24	0,63	50
27	0,72	66
30	0,81	87
32	0,86	100

Dans beaucoup de cas, il est avantageux de diriger les gaz de plusieurs foyers dans une cheminée commune (*cheminée centrale*), et on donne alors à celle-ci une hauteur de 40 à 50 mètres, suivant le nombre des foyers, la vivacité de la combustion et la grandeur des résistances du courant gazeux. Aux cheminées destinées à entraîner des gaz délétères, on donne une hauteur de plus de 100 mètres. Ainsi, la cheminée de l'usine à plomb de Mechernich s'élève à 131,1 mètres au-dessus de la surface du sol, celle de l'usine à plomb de Halsbrück, près Freiberg, à 140 mètres. Dans cette dernière usine, la cheminée est adossée au versant d'une montagne, de sorte

que son orifice supérieur se trouve à 198 mètres au-dessus de la sole des fours.

Si maintenant nous considérons l'expression  $\frac{\sqrt{t' - t}}{1 + \alpha t'}$  dans la formule relative à l'énergie du tirage de la cheminée, nous voyons que l'énergie du tirage ne croît qu'avec la racine carrée de la différence entre les températures de l'air en dedans et en dehors de la cheminée, mais que dans son accroissement, elle est limitée par la dilatation de l'air avec l'augmentation de la température  $(1 + \alpha t')$ . Il doit donc y avoir une limite de température dans la cheminée au-dessus de laquelle l'énergie du tirage n'augmente plus.

On peut calculer cette limite en grossissant  $t'$  dans l'expression  $\frac{\sqrt{t' - t}}{1 + \alpha t'}$ . On arrive alors pour  $t'$  au maximum de 297°. On admet donc comme température maxima pour les gaz de la cheminée celle de 300°.

La chaleur apportée à la cheminée au delà de cette température serait en pure perte, parce qu'elle ne contribue plus du tout à l'augmentation de l'énergie du tirage. Mais les quantités d'air aspirées entre 200° et 300° ne diffèrent que peu les unes des autres, de sorte qu'on admet que les gaz pénétrant dans la cheminée ne doivent pas avoir une température supérieure à 200°. Lorsque les gaz sortent avec une plus haute température de l'espace où a eu lieu le chauffage, comme cela arrive dans un grand nombre de procédés de séparation, on cherche avant leur pénétration dans la cheminée, à les refroidir à la température indiquée, en utilisant leur chaleur, par exemple, pour le chauffage de récupérateurs de chaleur, de chaudières à vapeur, etc.

On détermine la section de la cheminée pour un cas donné, d'après le volume des produits de la combustion et la vitesse à communiquer au courant gazeux. Si l'on désigne par  $v^1$  le volume des produits chauds de la combustion, par  $c$  la vitesse du courant gazeux, la section de la cheminée est  $F = \frac{v^1}{c}$ .

Si l'on désigne la température de la cheminée par  $t$ , le volume des produits de la combustion à 0° par  $v$ ,  $v^1 = v(1 + 0,00366 t)$  et

$$F = v \left( \frac{1 + 0,00366 t}{c} \right).$$

On admet que la vitesse  $c$  du courant gazeux, suivant la longueur et la section des canaux que ce dernier parcourt avant son entrée dans la cheminée, est égale à 2-5 mètres par seconde<sup>1</sup>.

On donne, en général, aux cheminées une section plutôt trop grande que trop petite, parce que des cheminées à grande section peuvent être rétrécies à l'aide d'un registre ou d'une soupape, tandis que les cheminées trop étroites ne peuvent pas être élargies. (Aux cheminées de 15 à 30 mètres de hauteur avec foyers à houille, on donne une section égale à 1/3-3/5 de la surface libre de la grille, aux cheminées plus hautes une section égale à 1/3-1/6 de cette surface.)

<sup>1</sup> Voy. F. FISCHER, *Manuel pour l'essai des combustibles et le contrôle des appareils de chauffage*, édit. française par L. GAUTIER, p. 188.



La section de la cheminée reçoit la forme d'un carré, d'un polygone ou du cercle. A cause de la stabilité de la cheminée, sa section va ordinairement en se rétrécissant de bas en haut.

Les cheminées sont construites en fer ou en maçonnerie.

Les *cheminées en fer* peuvent être établies plus rapidement et à meilleur marché que celles en maçonnerie et elles offrent aux gaz qui les traversent une résistance de frottement moins grande que les cheminées en maçonnerie. Mais elles ont l'inconvénient de refroidir le courant gazeux et d'être de peu de durée.

On préfère pour ces raisons aux cheminées en fer les *cheminées en maçonnerie*, qui durent très longtemps et refroidissent le courant gazeux beaucoup moins que les premières. On peut dans les cheminées en maçonnerie restreindre beaucoup l'inconvénient de la résistance due au frottement au moyen d'un bon crépissage de leur surface interne.

On donne à la surface supérieure de la cheminée une direction inclinée vers l'extérieur, afin de diriger par en bas les courants d'air horizontaux et d'éviter ainsi une perturbation dans le tirage.

Afin de régler le tirage, on munit les cheminées, comme l'a déjà dit, de *registres* ou de *souppapes*.

Les dispositifs de soufflage mentionnés précédemment sont employés pour renforcer le tirage de la cheminée, aussi bien que dans les cas où les cheminées ne sont pas applicables.

Pour aspirer l'air à travers la grille, on se sert d'appareils à jet de vapeur, qui sont adaptés dans les cheminées. On peut aussi avoir recours aux exhausteurs. La disposition de ces appareils est décrite dans le Chapitre VI, à propos des souffleries. Pour refouler de l'air à travers la grille, on se sert aussi bien des appareils à jet de vapeur que des machines soufflantes, qui seront décrites ultérieurement.

Les souffleries nécessaires pour la combustion des combustibles solides dans les fours à cuve et les bas-foyers seront décrites dans le Chapitre VI.

#### Contrôle des foyers et des fours<sup>1</sup>.

Pour *contrôler la marche des foyers ou des fours*, il est nécessaire de déterminer la composition du combustible (par l'analyse chimique) et la chaleur de combustion de ce dernier (le mieux à l'aide du calorimètre), d'analyser les produits de sa combustion, aussi bien les résidus solides non brûlés que les gaz de la fumée, de déterminer la température de ces derniers, ainsi que l'énergie du tirage de la cheminée.

La chaleur de combustion du charbon resté non brûlé et des éléments combustibles contenus dans les gaz de la fumée (oxyde de carbone, méthane, hydrogène, suie) fait connaître la perte de chaleur résultant de la combustion incomplète. La chaleur entraînée par les gaz de la fumée est déduite de la température des gaz, de leur quantité et de leur chaleur spécifique.

La *température des gaz de la fumée* est déterminée à l'aide de thermo-

<sup>1</sup> F. FISCHER, *Manuel pour l'essai des combustibles et le contrôle des appareils de chauffage*, édit. française par L. GAUTIER.

mètres (en se servant de préférence d'instruments dont l'espace au-dessus du mercure est rempli d'azote). Pour les températures au-dessus de 360°, on emploie les pyromètres.

Lors du contrôle de foyers de chaudières à vapeur, on ne détermine que la température et l'acide carbonique des gaz de la fumée. Pour se rendre compte de l'activité du chauffeur, qui doit restreindre autant que possible l'excès d'air, il suffit de déterminer de temps en temps la *teneur en acide carbonique des gaz du rampant*. Cette teneur indique si on travaille ou non avec un trop grand excès d'air.

Le dosage de l'acide carbonique peut être effectué automatiquement à l'aide des appareils dits *balances à gaz*. Celles-ci sont basées sur le changement du poids volumétrique des mélanges gazeux avec la variation de leur composition. Dans le cas présent, le poids volumétrique des gaz de la fumée devient plus grand à mesure que la teneur en acide carbonique augmente. Parmi ces appareils, nous citerons le dasymètre de SIEGERT et DÜRR, l'économètre de ARNDT, les balances à gaz de LUX et de PRECHT.

SCHUEURER-KESTNER, ARON et SEGER, SIEGERT et DÜRR ont indiqué des dispositifs pour la détermination de la dépression dans les cheminées.

#### *Aluminothermie.*

[Dans cette méthode de production de la chaleur, imaginée par H. GOLDSCHMIDT, on utilise l'énorme élévation de température résultant de l'oxydation ou combustion de l'aluminium<sup>4</sup>, aux dépens de l'oxygène des oxydes d'autres métaux, pour séparer de leurs oxydes les métaux difficilement fusibles, comme le chrome et le manganèse, ainsi que pour obtenir de très hautes températures en vue du travail des mélaux.

Pour ces usages, l'aluminium est employé en poudre fine ou mieux sous forme de petits grains. Lorsqu'il s'agit de préparer un métal (tous les métaux, à l'exception de ceux des alcalis et des terres alcalines, sont réduits par l'aluminium), on mélange l'oxyde de ce dernier avec de l'aluminium en grains suivant les proportions indiquées par l'équation chimique de la décomposition, en employant un léger excès de l'oxyde, de façon à oxyder complètement l'aluminium et empêcher la formation d'un alliage avec ce dernier. Pour déterminer l'ignition du mélange, dont la préparation doit être faite avec le plus grand, afin de l'obtenir aussi homogène que possible, on se sert d'une petite *cartouche d'allumage*. Celle-ci (fig. 171) consiste en une boule formée d'aluminium en poudre très fine et de peroxyde de baryum (0,5 gr. d'aluminium et 2,5 gr. de peroxyde de baryum), agglomérés au moyen d'une matière agglutinante, et dans cette boule est fixé un petit ruban de magnésium, qui est d'abord allumé avec une allumette.

Lorsqu'on a produit à l'aide de la cartouche d'allumage l'ignition dans un point d'une certaine quantité du mélange placée dans un creuset réfractaire brasqué de magnésie, la combustion se propage dans tout le reste de

<sup>4</sup> La chaleur de combustion de l'aluminium s'élève, d'après STRAUSS, à 7140 Calories, et vient, par conséquent, immédiatement après celle de l'hydrogène (34200 Cal.) et du carbone (8317 Cal.).

la masse et, à mesure que la réaction progresse, on ajoute continuellement de nouvelles portions du mélange. Par suite de la grande quantité de chaleur dégagée, le métal se sépare à l'état fondu et une scorie d'alumine également fondue le surnage. On peut rendre l'opération continue, si l'on a soin de prendre un creuset pourvu de deux trous de coulée, l'un pour le métal, l'autre pour la scorie. La réaction étant très rapide, on peut dans un creuset de moyenne grandeur, oxyder par minute 1-2 kilogrammes d'aluminium et par conséquent réduire une quantité correspondante de l'oxyde. Pendant l'opération, le contenu du creuset reste en fusion tranquille, parce qu'il ne se forme que des produits d'oxydation solides. Suivant GOLDSCHMIDT, la température s'élèverait à plus de 3000° au sein des masses en réaction.

On prépare de cette manière le chrome et le manganèse à l'état pur dans les usines d'Essen et de Saint-Jean-de-Maurienne.

Pour obtenir l'aluminium *en grains*, qui doit être mélangé avec l'oxyde métallique à réduire, on agite l'aluminium fondu au moment où en se refroidissant il atteint une certaine température critique, comprise entre l'état solide et l'état liquide. La solidification se produit pendant l'agitation et la masse liquide divisée donne le métal en grains. Pour préparer l'aluminium *en poudre*, que l'on trouve dans le commerce sous le nom de *poudre de bronze*, on broie des feuilles minces d'aluminium dans un appareil spécial; avant d'employer cette poudre (pour la préparation des cartouches d'allumage), il faut avoir soin de la laver avec des huiles légères de goudron de houille ou de l'essence de pétrole, afin de la débarrasser des matières grasses dont elle est toujours enduite.

Le *brasquage du creuset*, dans lequel a lieu la réduction de l'oxyde métallique, est pratiqué de la manière suivante. Avec de la magnésie calcinée à très haute température et humectée avec 10 à 15 p. 100 d'eau, on fait une pâte que l'on applique avec la main ou une matrice en bois sur les parois du creuset, après quoi on comprime et on sèche. On peut obtenir le même résultat plus rapidement, en ajoutant à de la magnésie très fortement calcinée un peu de magnésie préparée à une température plus basse. La pâte fait alors prise au bout de peu de temps, mais la brasque est moins solide, bien que suffisante dans la plupart des cas. SCHLÖSING obtient une brasque d'une très grande solidité en mélangeant quatre parties en poids de magnésie fortement calcinée avec une partie de magnésie cuite au rouge et appliquant le mélange sur les parois du vase à une pression de 10 000 kilogrammes par 0,1 mètre carré.

La haute température développée par la combustion de l'aluminium peut, comme on l'a déjà dit, être aussi utilisée pour le travail des métaux (brasage, soudage). Dans ce but, l'objet à chauffer est entouré avec la masse réagissante, qui se compose alors d'un mélange d'aluminium en grains et d'oxyde de fer pulvérisé, mélange auquel GOLDSCHMIDT a donné le nom de *thermite*. Si l'on ne désire obtenir qu'une chaleur modérée, on a soin de diluer la masse par addition d'une substance inerte (sable, chaux, magnésie, etc.) et en ajoutant cette dernière dans des proportions convenable-

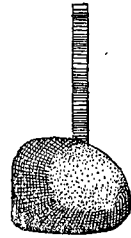


Fig. 171. — Cartouche d'allumage.

ment choisies, on peut produire toutes les températures comprises entre le rouge et le blanc le plus intense.

Pour chauffer un gros rivet, par exemple, on l'entoure de thermité mélangé de sable, on plonge ensuite le tout dans du sable contenu dans une caisse en bois, puis on dispose au sommet du mélange de thermité et de sable émergeant de la caisse, une cartouche d'allumage et, allumant celle-ci, on détermine la réaction, après quoi on ajoute du sable sur le mélange, afin de diminuer les pertes de chaleur. Au bout de quelques instants, le rivet ainsi porté au rouge est prêt à forger.

On peut aussi souder entre elles deux pièces de fer par l'intermédiaire de la soudure ordinaire, en déterminant la fusion de celle-ci à l'aide du mélange de thermité et de sable. Mais le procédé appliqué à la *soudure autogène* est beaucoup plus important et est aussi plus facile à mettre en pratique. Il suffit pour cela de presser l'une contre l'autre les pièces à souder, pendant qu'on coule d'un creuset la masse liquide amenée en réaction dans une sorte de moule en tôle garnie d'argile réfractaire et embrassant les extrémités des pièces. C'est ainsi que l'on peut facilement souder sur place deux rails maintenus solidement et rapprochés l'un contre l'autre par leurs extrémités, au moyen de tirants à vis. Sous l'influence de la chaleur et de la pression, la soudure s'effectue d'elle-même très rapidement et d'une manière absolue sur la totalité du profil. Ce mode de soudure autogène peut aussi être appliqué très avantageusement aux tuyaux en fer pour conduites de vapeur, de gaz ou d'eau<sup>1</sup>.]

## II. — PRODUCTION DE LA CHALEUR PAR LE COURANT ÉLECTRIQUE

Lorsque le courant électrique traverse un conducteur, une partie de l'énergie électrique, par suite de la résistance qu'offre ce dernier au passage du courant, est transformée en une quantité équivalente de chaleur. Plus la résistance est grande, plus il est converti d'énergie électrique en chaleur.

D'après JOULE, la quantité de chaleur  $C$ , qui, avec une intensité de courant donnée  $J$  (en ampères) et une résistance connue  $W$  (en ohms), est produite en  $s$  secondes, s'élève en calories-grammes à  $C = 0,24. J^2. W. s$ . D'après cela, la quantité de chaleur que produit un courant de 1 ampère d'intensité dans une résistance de 1 ohm est égale à 0,24 calorie-gramme.

A l'aide de ce mode de production de chaleur, on obtient, en se servant de l'arc électrique, des températures auxquelles le carbone se volatilise. Ces températures sont comprises entre 3 500 et 4 000°.

La chaleur peut être produite en un point déterminé du circuit, si en ce point on intercale une résistance très grande par rapport à celle du reste du circuit. Cette résistance est formée soit par le corps à chauffer lui-même, soit par un corps étranger se trouvant en contact avec lui, soit enfin par l'air. Dans le dernier cas, le courant électrique produit dans l'intervalle rempli d'air du conducteur un arc voltaïque.

La chaleur produite à l'aide des deux premières sortes de résistances

<sup>1</sup> Voy. *Portefeuille économique des machines*, 4<sup>e</sup> série, t. IX, col. 61 et 72.

n'est pas limitée à un espace aussi petit que la chaleur de l'arc voltaïque. C'est pour cela qu'elle est fréquemment employée. L'échauffement à l'aide de l'arc voltaïque, qui exige une haute tension avec une faible intensité de courant, est limitée à un très petit espace, de sorte qu'il n'est pas possible de chauffer de grands espaces à la haute température de l'arc voltaïque. En outre, ce dernier a une température beaucoup plus élevée (3 000-4 000°) que celles que nécessitent les opérations métallurgiques.

Le courant électrique nécessaire pour la production de la chaleur est fourni par des *machines dynamo-électriques*.

La chaleur produite à l'aide du courant électrique, si on ne dispose pas d'une force hydraulique peu coûteuse, revient à un prix très élevé, en comparaison avec la chaleur obtenue par combustion.

La quantité de la chaleur produite au moyen du courant ne représente, lorsque les machines dynamo-électriques sont actionnées par la vapeur, que quelques unités pour cent de la quantité de chaleur développée par les combustibles brûlés sous la chaudière à vapeur.

Bien que la production de la chaleur par le courant électrique offre l'avantage d'un chauffage très rapide à de très hautes températures, qui peuvent être réglées rapidement, et qu'en outre elle permette de chauffer les corps à traiter aussi bien dans le vide que dans toute atmosphère, ce mode de chauffage n'est cependant employé que dans les cas où l'on ne peut pas ou seulement incomplètement atteindre le but qu'on se propose à l'aide de la chaleur obtenue en brûlant des combustibles.

La production de la chaleur à l'aide de résistances, qui peuvent être formées par les corps à chauffer eux-mêmes ou par des corps étrangers se trouvant en contact avec eux, exige avec une grande intensité de courant une faible tension.

Le premier mode de production de chaleur trouve emploi, par exemple, dans la fabrication de l'aluminium et de ses alliages, ainsi que dans le soudage électrique.

C'est CARL WILHELM SIEMENS<sup>1</sup> qui, le premier, s'est servi de la chaleur de l'arc voltaïque pour des opérations métallurgiques. Dès les premiers mois de l'année 1880, il fondit des métaux dans un creuset, qui était intercalé dans le circuit électrique. Le creuset était placé dans un vase métallique. L'espace entre ce dernier vase et le creuset était rempli de charbon de cornue pulvérisé ou de sable. Par une baguette de fer, de platine ou de charbon de cornue traversant le fond du creuset, le courant entrait dans le métal à fondre placé dans ce dernier et, par la couche d'air laissée entre la surface du métal et la cathode, il passait ensuite, en formant un arc électrique, à la cathode, qui consistait en une baguette de charbon mobile. Le métal à fondre formait ici le prolongement de l'anode. Il doit se trouver à l'anode, parce que c'est au pôle positif de l'arc voltaïque qu'il se produit le plus de chaleur.

Cependant, l'arc voltaïque n'a pas trouvé emploi pour la fusion des métaux, parce que ces derniers peuvent être fondus à moins de frais à l'aide de la chaleur de combustion.

<sup>1</sup> C.-W. SIEMENS, *Einige wissenschaftlich-technische Fragen der Gegenwart*. Zweite Folge, Berlin, 1883, p. 23 et 90.

On a aussi employé l'arc électrique pour le soudage du fer<sup>1</sup>.

Mais, dans ce cas également, le soudage au moyen de la chaleur de combustion est moins coûteux.

Les appareils dans lesquels sont effectuées les opérations métallurgiques avec l'aide de la chaleur du courant, sont désignés sous le nom de *fours électriques*. Ils seront décrits dans le Chapitre VI.

<sup>1</sup> Voy. BORCHERS, *Traité d'électrometallurgie*, édition française, par L. GAUTIER, Paris, CH. BÉRANGER, éditeur.

---

## CHAPITRE V

### PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ NÉCESSAIRE POUR L'EXTRACTION DES MÉTAUX

#### I. — NOTIONS SUR LE COURANT ÉLECTRIQUE

L'électricité est une forme d'énergie particulière, comme la chaleur, l'énergie chimique, l'énergie mécanique et l'énergie radiante. D'après la loi de la conservation de l'énergie, ces formes d'énergies peuvent être transformées les unes dans les autres. D'après cette loi, pour un travail rendu, il se produit toujours une quantité équivalente d'une autre énergie. Pour établir entre deux points un courant électrique continu, il faut produire de façon ininterrompue de nouvelle électricité aux dépens d'énergie mécanique ou chimique ou de chaleur. A la place où l'électricité est produite, il existe entre deux points très voisins une *différence de tension*. Celle-ci tend à disparaître par toute communication permettant le passage de l'électricité entre les deux points. Si cette communication est établie au moyen d'un conducteur électrique, l'électricité, du lieu où elle est produite, revient, en circulant à travers le conducteur, au point primitif, tant que la différence de tension est maintenue. La grandeur de la différence de tension dépend de la nature du processus par lequel cette différence est produite ; on la nomme la *force électromotrice* du processus ou de l'appareil par lequel le processus est réalisé.

La *conduction de l'électricité* peut avoir lieu soit par transport de particules chargées, qui changent leur charge, soit sans déplacement de particules matérielles. Dans le premier cas, on nomme la conduction, conduction électrolytique et le conducteur lui-même conducteur de la deuxième classe, tandis que, dans le second cas, on appelle la conduction, conduction métallique et le conducteur lui-même conducteur de la première classe. Les conducteurs de la deuxième classe (électrolytes) sont des corps chimiquement composés, dont les molécules, lors de la dissolution ou de la fusion, maintes fois aussi à l'état solide, se dédoublent en ions chargés électriquement. Aux dépens de chaque molécule se dédoublant, il se produit un ion chargé négativement, l'anion, et un ion chargé positivement, le cathion. Les ions sont les intermédiaires de la conduction électrique, les cathions entraînant l'électricité positive dans une direction, les anions l'électricité négative dans la direction opposée. En outre, les ions abandonnent leurs charges aux électrodes et passent à l'état moléculaire.

Les conducteurs opposent une certaine résistance au passage de l'élec-

tricité. Cette résistance, que l'on nomme **résistance électrique** est directement proportionnelle à la résistance spécifique et à la longueur du conducteur, et inversement proportionnelle à la section de ce dernier. Cette loi est applicable non seulement aux conducteurs de la première classe, mais encore à ceux de la seconde. Les corps qui possèdent une résistance spécifique telle que, même avec une faible longueur et une grande section, il ne se produit pas de courant mesurable, sont appelés *non conducteurs* ou isolateurs. La résistance d'un conducteur varie avec la température. La résistance des métaux augmente en général avec la température, tandis que celle des liquides diminue.

L'unité de résistance électrique est l'ohm, c'est-à-dire la résistance que possède à 0° une colonne de mercure de 106,3 millimètres de longueur et de 1 millimètre carré de section. Si la résistance d'un corps =  $W$ , sa conductibilité électrique =  $\frac{1}{W}$  ou, exprimée en ohms =  $\frac{1}{\text{ohm}}$ .

On désigne sous le nom de coefficient de température du corps considéré l'augmentation de résistance de 1 ohm pour un échauffement de 1°.

La résistance spécifique (à 15°) et le coefficient de température de quelques métaux et alliages sont indiqués dans le tableau suivant :

	RÉSISTANCE SPÉCIFIQUE	COEFFICIENT DE TEMPÉRATURE
Aluminium. . . . .	0,03-0,05	0,004
Plomb . . . . .	0,208	0,00387
Fer. . . . .	0,10-0,12	0,0048
Platine (recuit). . . . .	0,094	0,0038
Mercure . . . . .	0,95	0,0009
Argent (recuit). . . . .	0,016	0,00377
Zinc . . . . .	0,06	0,0037
Étain. . . . .	0,14	0,0037
Argentan. . . . .	0,3	0,00037
Cuivre. . . . .	0,0172	0,0038
Nickel breveté (75 p. 100 Cu, 25 p. 100 Ni).	0,342	0,00019

La résistance totale d'un circuit se compose de la résistance intérieure de la source de courant et de la résistance du circuit extérieur.

La *quantité d'électricité* qui traverse la section du conducteur dans l'unité de temps, c'est-à-dire l'*intensité du courant*, dépend de la résistance du conducteur et de la différence de tension à ses extrémités.

L'unité de mesure de la *quantité d'électricité* est le *coulomb*. Il représente la quantité d'électricité qui, sans tenir compte du temps, sépare d'une solution d'argent 1,1183 milligramme d'argent ou d'une solution d'un autre métal une quantité de ce dernier équivalente à l'argent (0,328 milligramme de cuivre, 0,337 milligramme de zinc).

L'unité de mesure de l'*intensité de courant* est l'*ampère*, c'est-à-dire l'intensité de courant qui par seconde envoie dans le circuit une quantité d'électricité de 1 coulomb. L'intensité de courant est la même dans toutes les sections consécutives du conducteur, que ces sections soient égales



ou de grandeurs différentes. Si un conducteur est bifurqué, elle est égale dans la partie non bifurquée à la somme des intensités de courant dans les deux branches derrière la bifurcation.

La **force électromotrice** est la force (agissant, par exemple, dans une machine dynamo-électrique), qui sépare l'électricité neutre présente en électricité positive et électricité négative et les pousse, à l'encontre de leur force d'attraction réciproque, en sens contraire à travers la *résistance tout entière du circuit*. Elle peut être comparée à la *pression initiale* avec laquelle une quantité d'eau est poussée à travers un tube. Le **potentiel** ou la **tension**, ou bien la *différence de potentiel* ou la *différence de tension* est la *pression électrique* dans les différents points du circuit, pression qui varie le long du conducteur. La différence de potentiel aux pôles de la source électrique est désignée sous le nom de *tension polaire*.

L'unité pour la force électromotrice, la tension ou le potentiel ou bien pour la *différence de tension* ou la *différence de potentiel* est le volt. Elle représente la tension qui peut lancer un courant de 1 ampère d'intensité à travers une résistance totale de 1 ohm.

Les rapports entre l'intensité de courant, la résistance et la force électromotrice sont exprimés par la loi de OHM, ainsi nommée du nom de son inventeur. D'après cette loi, l'intensité de courant est directement proportionnelle à la force électromotrice et inversement proportionnelle à la résistance. Les unités d'intensité de courant, de force électromotrice et de résistance sont choisies telles qu'en présence d'une force électromotrice de 1 volt et une résistance de 1 ohm dans le circuit l'intensité de courant est = 1 ampère. Par conséquent :

$$\text{ampère} = \frac{\text{volt}}{\text{ohm}} ;$$

ou

$$A = \frac{V}{O} .$$

La loi de OHM peut donc aussi s'énoncer comme il suit : une force électromotrice V (mesurée en volts) produit dans la résistance O (mesurée en ohms) un courant de l'intensité :

$$A = \frac{V}{O} \text{ en ampères.}$$

Cette loi convient aussi bien pour le circuit tout entier que pour une partie quelconque de celui-ci. Dans le dernier cas, la force électromotrice est remplacée par la différence de potentiel. Dans une partie isolée du circuit, V est alors la différence de potentiel ou différence de tension entre les deux extrémités de cette partie.

Si, dans l'équation  $A = \frac{V}{O}$ , on a déterminé deux grandeurs par calcul ou par mesure, on peut aussi déterminer la troisième, parce que

$$O = \frac{V}{A} \text{ et } V = A \times O.$$

L'énergie électrique est le produit de la tension par la quantité d'élec-

tricité. L'unité de l'énergie électrique = 1 volt  $\times$  1 coulomb est appelée *volt-coulomb* ou *joule*. Le travail électrique rendu, l'*effet électrique*, est représenté par les volts-coulombs consommés *par seconde*, c'est-à-dire par les volts-ampères. L'unité pour l'effet électrique est = 1 volt  $\times$  1 ampère = 1 watt.

On nomme 1 000 watts 1 kilowatt, 1 000 ampères 1 kilo-ampère. On a, en outre, adopté les désignations d'ampère-heure et de watt-heure. Dans un ampère-heure il passe 3 600 coulombs à travers un conducteur. Sous le nom de watt-heure, on comprend la transformation de 3 600 volts-coulombs en d'autres formes d'énergie.

Les grandeurs électriques dont il vient d'être question sont groupées dans le tableau suivant :

$$\begin{aligned}
 1 \text{ volt} \times 1 \text{ coulomb} &= 1 \text{ volt-coulomb ou } 1 \text{ joule} \\
 \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ seconde}} &= 1 \text{ ampère} \\
 1 \text{ volt} &= 1 \text{ ampère} \times 1 \text{ ohm} \\
 1 \text{ volt} \times 1 \text{ ampère} &= 1 \text{ watt} \\
 1\,000 \text{ watts} &= 1 \text{ kilowatt} \\
 1\,000 \text{ ampères} &= 1 \text{ kilo-ampère} \\
 1 \text{ watt heure} &= 1 \text{ watt} \times 3\,600 \text{ secondes} \\
 &= 3\,600 \text{ volts-coulombs} \\
 1 \text{ kilowatt-heure} &= 1\,000 = 1\,000 \text{ watts-heure.}
 \end{aligned}$$

D'après la loi de la conservation de l'énergie, l'énergie électrique peut aussi être transformée en d'autres formes d'énergie. Nous avons ici à considérer sa transformation en chaleur, en énergie mécanique et en énergie chimique.

L'unité de mesure technique pour la *chaleur* est la *calorie-kilogramme* (Cal.), c'est-à-dire la quantité de chaleur qui est nécessaire pour échauffer de 1° un kilogramme d'eau à 15°. L'unité scientifique est la *calorie-gramme*, c'est-à-dire la quantité de chaleur qui est nécessaire pour échauffer de 1° un gramme d'eau à 0°. Des expériences ont montré que 1 volt-coulomb = 0,2394 calorie-gramme ou 0,000 239 calorie-kilogramme. On déduit de là 1 calorie-gramme = 4,177 volts-coulombs. ou 1 calorie-kilogramme = 4177 volts-coulombs. On désigne ces derniers nombres, qui indiquent combien d'unités électriques équivalent à une unité de chaleur (à une calorie-gramme ou à une calorie-kilogramme) *équivalents électriques de la chaleur*.

Dans l'industrie, on admet que 1 *volt-coulomb* est égal à 0,240 calorie-gramme, ou à 0,000 240 calorie-kilogramme.

L'*unité technique de l'énergie mécanique* est le kilogrammètre (kgm), c'est-à-dire le travail qu'il faut rendre pour élever un poids de 1 kilogramme à 1 mètre de hauteur. L'unité scientifique de l'énergie mécanique est donnée d'une part par le gramme-centimètre (gcm), d'autre part par l'erg du système centimètre-gramme. [L'erg indique le travail qui est nécessaire pour déplacer d'une longueur de 1 centimètre, l'unité de masse (le gramme) au moyen de l'unité de force (la dyne). La dyne est la force qui communique à la masse d'un gramme en une seconde une accélération d'un centimètre. La masse d'un gramme est la masse d'un cube d'eau de 1 centimètre de côté à la température de 4°. La masse d'un gramme est inva-

riable, tandis que le poids du gramme, c'est-à-dire la force avec laquelle la masse d'un gramme est attirée par la terre, varie à la surface de celle-ci. Sous la latitude de 45°, l'accélération d'un corps par l'attraction terrestre s'élève à 980,6 centimètres par seconde. Le poids du gramme est par suite = 980,6 dynes. L'unité technique de travail de 1 kilogrammètre est = 10<sup>8</sup> gcm = 10<sup>8</sup>. 980,6 ergs.]. L'expérience a montré que le travail rendu par une calorie-kilogramme s'élève à 426 kilogrammètres, ou que celui d'une calorie-gramme est égal à 42600 gcm. Comme on le sait, on appelle ce nombre équivalent mécanique de la chaleur. Comme maintenant, ainsi que nous l'avons vu, une calorie-kilogramme est équivalente à 4177 volts-coulombs, on trouve par le calcul que 1 volt-coulomb = 0,162 kgm (ou = 10 200 gcm).

On nomme ce nombre *équivalent électro-mécanique*.

1 kilogrammètre est équivalent à  $\frac{1}{0,102} = 9,803$  volts-coulombs.

Comme 1 volt-coulomb = 0,102 kilogrammètre, 1 watt = 0,102 kilogrammètre par seconde.

Dans l'industrie, on admet comme unité de l'effet mécanique le *cheval-vapeur* (en allemand *Pferdestärke*, PS, en anglais *horse-power*, HP), c'est-à-dire la force qui rend par seconde 75 kilogrammètres de travail mécanique. Il est équivalent à 736 watts.

Pour l'énergie chimique, il n'existe pas d'unité de mesure. La chaleur qui lors de la combinaison chimique de deux substances est mise en liberté ou est absorbée, la **tonalité thermique**, ne correspond pas directement à la différence de l'énergie chimique qui existe dans les substances réagissantes avant la transformation et dans les produits de la réaction après la transformation. Elle ne nous fournit, par conséquent, aucune mesure exacte pour l'énergie chimique. Mais elle nous donne des *valeurs approximatives* et est par suite fréquemment employée comme mesure de l'énergie chimique. Si l'on connaît la tonalité thermique d'une réaction, on peut, comme

$$1 \text{ volt-coulomb} = 0,24 \text{ calorie-gramme,}$$

calculer l'énergie électrique qui doit être dépensée pour pouvoir produire la réaction en sens inverse.

*Tonalités thermiques des oxydes et hydroxydes formés de R<sub>2</sub>O et R, O, H<sub>2</sub>O :*

	Cal.-gr.	Cal.-gr.		Cal.-gr.	Cal.-gr.
Na <sup>2</sup> O, aq en dissolution	} 155 260		NiO, H <sup>2</sup> O . . . .	60 840	
MgO, H <sup>2</sup> O . . . .		148 960	1/3 Sb <sup>2</sup> O <sup>3</sup> , 3H <sup>2</sup> O .	55 810	
Na <sup>2</sup> O, H <sup>2</sup> O . . . .	135 380		PbO, H <sup>2</sup> O . . . .	?	PbO 50 300
1/3 Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> , 3H <sup>2</sup> O .	129 640	Na <sup>2</sup> O 99,760	1/3 As <sup>2</sup> O <sup>3</sup> , 3H <sup>2</sup> O .	49 010	1/3 As <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 51 530
MnO, H <sup>2</sup> O . . . .	94 770		1/3 Bi <sup>2</sup> O <sup>3</sup> , 3H <sup>2</sup> O .	45 910	
ZnO, H <sup>2</sup> O . . . .	82 680		1/5 As <sup>2</sup> O <sup>3</sup> , 3H <sup>2</sup> O .	45 236	1/3 As <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 43 880
FeO, H <sup>2</sup> O . . . .	68 280		Hg <sup>2</sup> O, H <sup>2</sup> O . . . .	?	Hg <sup>2</sup> O 42 200
SnO, H <sup>2</sup> O . . . .	68 090		CuO <sup>2</sup> , H <sup>2</sup> O . . . .	?	Cu <sup>2</sup> O 40 810
1/2 SnO <sup>2</sup> , H <sup>2</sup> O . .	66 750		CuO, H <sup>2</sup> O . . . .	37 520	CuO 37 160
CdO, H <sup>2</sup> O . . . .	65 680		HgO, H <sup>2</sup> O . . . .	?	HgO 30 670
2/3 Fe <sup>3</sup> O <sup>4</sup> , 3H <sup>2</sup> O .	63 720		Ag <sup>2</sup> O, H <sup>2</sup> O . . . .	?	Ag <sup>2</sup> O 5 900
CoO, H <sup>2</sup> O . . . .	63 400		1/3 Au <sup>2</sup> O <sup>3</sup> , 3H <sup>2</sup> O .	?	1/3 Au <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 4 400

## Tonalités thermiques des sulfures et sulphydrates formés de R,S et R,S, aq.

	Cal.-gr.		Cal.-gr.
Na <sup>2</sup> S, aq en dissolution } . . . . .	104 000	CoS, xH <sup>2</sup> O . . . . .	21 740
MnS, xH <sup>2</sup> O . . . . .	46 400	PbS . . . . .	20 430
ZnS, xH <sup>2</sup> O . . . . .	41 580	Cu <sup>2</sup> S . . . . .	20 270
CdS, xH <sup>2</sup> O . . . . .	34 360	NiS, xH <sup>2</sup> O . . . . .	19 400
FeS, xH <sup>2</sup> O . . . . .	23 780	HgS . . . . .	16 890
		Ag <sup>2</sup> S . . . . .	5 340

## Tonalités thermiques des chlorures.

	CHLORURES SOLIDES.		CHLORURES EN SOLUTION.
	Calories-gr.		AQUEUSE. Calories-gr.
2NaCl . . . . .	495 380		493 020
MgCl <sup>2</sup> . . . . .	151 010		186 930
MnCl <sup>2</sup> . . . . .	111 990		128 000
1/2 Al <sup>3</sup> Cl <sup>6</sup> . . . . .	107 320		158 550
ZnCl <sup>2</sup> . . . . .	97 210		112 840
CdCl <sup>2</sup> . . . . .	93 240		96 250
PbCl <sup>2</sup> . . . . .	82 770		23 970
HgCl <sup>2</sup> . . . . .	82 550		—
FeCl <sup>3</sup> . . . . .	82 050		99 950
SnCl <sup>2</sup> . . . . .	80 790		81 140
CoCl <sup>2</sup> . . . . .	76 480		94 820
NiCl <sup>2</sup> . . . . .	74 530		93 700
2CuCl . . . . .	65 750		—
1/2 SnCl <sup>4</sup> . . . . .	63 630		78 590
1/3 Fe <sup>2</sup> Cl <sup>6</sup> . . . . .	62 030		85 150
HgCl <sup>2</sup> . . . . .	63 160		59 860
2/3 SbCl <sup>3</sup> . . . . .	60 930		—
2/3 BiCl <sup>3</sup> . . . . .	60 420		—
2 AgCl . . . . .	58 760		—
CuCl <sup>2</sup> . . . . .	54 630		62 710
2/3 AsCl <sup>3</sup> . . . . .	46 930		88 970
1/2 PtCl <sup>4</sup> , KCl . . . . .	44 750		37 870
2/5 SbCl <sup>5</sup> . . . . .	41 950		—
2/3 AuCl <sup>3</sup> . . . . .	15 210		18 180
2 AuCl . . . . .	11 620		—

Tonalités thermiques des sulfates et des azotates formés de R<sup>II</sup>, O, SO<sup>3</sup> (R<sup>II</sup>, O, SO<sup>3</sup>)  
et R<sup>I</sup>, O, AzO<sup>2</sup> (R<sup>II</sup>, O, Az<sup>2</sup>O<sup>5</sup>) en solution aqueuse :

	Cal.-gr.		Cal.-gr.
Na <sup>2</sup> SO <sup>4</sup> . . . . .	186 640	NiSO <sup>4</sup> . . . . .	86 950
MgSO <sup>4</sup> . . . . .	180 180	1/3 Fe <sup>3</sup> (SO <sup>4</sup> ) . . . . .	74 970
MnSO <sup>4</sup> . . . . .	121 250	PbSO <sup>4</sup> . . . . .	73 800
ZnSO <sup>4</sup> . . . . .	106 090	CuSO <sup>4</sup> . . . . .	55 960
FeSO <sup>4</sup> . . . . .	93 200	Hg <sup>2</sup> SO <sup>4</sup> . . . . .	»
CdSO <sup>4</sup> . . . . .	89 880	HgSO <sup>4</sup> . . . . .	»
CoSO <sup>4</sup> . . . . .	88 070	Ag <sup>2</sup> SO <sup>4</sup> . . . . .	20 390

	Cal.-gr.		Cal.-gr.
Na <sup>2</sup> Az <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	182 620	NiAz <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	83 420
MgAz <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	176 480	Fe <sup>2</sup> 6(AzO <sup>3</sup> ) . . . . .	»
MnAz <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	117 720	PbAz <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	68 070
ZnAz <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	102 510	CuAz <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	52 410
FeAz <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	»	Hg <sup>2</sup> Az <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	47 990
CdAz <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	86 300	HgAz <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	37 070
CoAz <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	84 540	Ag <sup>2</sup> Az <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	16 780

La chaleur de formation pour l'acétate de plomb en solution aqueuse s'élève à 65 760 calories-grammes, celle de cyanure double d'argent et de potassium (2 Ag CAz, 2 KCAz), à 15 780 calories-grammes.

Les tonalités thermiques qui précèdent sont données d'après les indications de THOMSEN. Elles sont rapportées aux quantités des différents métaux qui sont des équivalents de deux atomes de chlore ou de un atome d'oxygène (ou de soufre). Les poids équivalents sont indiqués en grammes, les tonalités thermiques en calories-grammes.

Si, d'après les tonalités thermiques, nous pouvons déterminer approximativement en volts-coulombs l'énergie électrique nécessaire pour la décomposition des combinaisons, la *tension* nécessaire pour la décomposition ne nous est pas, par cela même, indiquée. Nous pouvons la déterminer, si la quantité d'électricité, c'est-à-dire le nombre des coulombs, nécessaire pour la décomposition, nous est connue. Cette quantité nous est donnée par la *loi de FARADAY*. D'après cette loi importante, *les quantités des substances séparées aux électrodes par des quantités égales d'électricité, sont proportionnelles à leurs équivalents chimiques*. Pour décomposer l'équivalent en grammes d'une combinaison conductrice quelconque, 96540 coulombs doivent traverser l'électrolyte. Ce nombre de coulombs représente l'unité électro-chimique de la quantité d'électricité. Il est désigné par 1 F. Par exemple, d'une solution d'azotate d'argent, il est décomposé par 1 F 169,97 grammes d'azotate d'argent. La quantité de l'argent séparé s'élève à 107,93 grammes. Si 96 540 coulombs séparent 107,93 grammes d'argent, il est séparé par un coulomb  $\frac{107,93}{96540} = 0,00118$  grammes d'argent. (La loi de FARADAY sera expliquée avec plus de détails à propos de la théorie de l'électrolyse.) Si maintenant nous désignons par F = 96 540 coulombs, par n le nombre des équivalents en grammes, par W la tonalité thermique d'une réaction, la tension à employer est égale en volts à  $\frac{W}{0,24 n \cdot F}$ .

Cette relation est connue sous le nom de *règle de THOMSON*. Elle ne donne, pour les raisons qui viennent d'être indiquées, qu'une valeur approximative pour la tension.

Lorsque l'électricité traverse le circuit, une certaine quantité de celle-ci est, dans toutes les parties de ce dernier, transformée en chaleur. Cette chaleur est produite par la résistance que le circuit offre au passage de l'électricité. Si nous laissons toute l'énergie électrique se transformer en chaleur et si V est la différence de tension en volts entre les deux extrémités d'un fil, J l'intensité de courant,  $\alpha$  la quantité de chaleur, qui se

produit dans l'unité de temps aux dépens de l'énergie électrique, et  $K$  le quotient de proportionnalité, on a :

$$VJ = a K.$$

D'après la loi de OHM :

$$V = J. W. K'$$

$W$  indique ici la résistance et  $K'$  un facteur de proportionnalité. Si, à la place de  $V$ , nous introduisons  $J.W.K'$  dans la première équation, nous obtenons l'équation :

$$J^2 W = a. K''.$$

*D'après cela, la quantité de chaleur dégagée dans un circuit ou dans une partie de celui-ci dans l'unité de temps, est proportionnelle à la résistance et au carré de l'intensité de courant. Cette loi est appelée loi de JOULE, du nom de son inventeur.*

Si nous prenons comme unité pour l'énergie électrique disponible dans l'unité de temps le volt-ampère = 0,24 calorie-gramme, pour l'intensité de courant l'ampère, et pour la résistance l'ohm, la quantité de chaleur développée en une seconde est en calories-grammes égale à :

$$0,24. \text{ ampère}^2. \text{ ohm.}$$

## II. — PRODUCTION DU COURANT

Les éléments galvaniques et les piles thermo-électriques fournissent des courants relativement faibles. Des courants intenses, comme ceux qui sont nécessaires pour les opérations électrométallurgiques, sont actuellement fournis presque exclusivement par des machines d'induction. A l'aide de ces machines, l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique. La production de l'électricité a lieu par induction magnétique.

D'après la loi de l'induction, il est produit dans une bobine qui se trouve dans un champ magnétique une force électromotrice, si le nombre des lignes de force magnétiques, le traversant varie. (Qu'on se figure le champ magnétique, c'est-à-dire l'espace entourant un pôle magnétique, un aimant ou une réunion d'aimants, traversé par des *lignes de force*, qui, pour chaque point du champ, indiquent la direction de la force magnétique résultante.) La variation du nombre des lignes de force peut être obtenue par mouvement de la bobine ou par mouvement de l'aimant ou par variation du champ magnétique.

La grandeur de la force électromotrice croît avec la vitesse avec laquelle varie le nombre des lignes de force traversant la bobine, avec l'accroissement de la force du champ magnétique et avec le nombre des tours de la bobine. On peut donc l'augmenter par un mouvement plus rapide de la bobine ou de l'aimant, en renforçant le champ magnétique et augmentant les tours de la bobine; dans ce dernier cas, les forces électromotrices des différents tours s'ajoutent.

La direction de la force électromotrice induite est, lorsqu'on augmente

le nombre des lignes de force, opposée à celle qu'elle prend quand on diminue le nombre de celles-ci.

Si nous faisons tourner une bobine dans un champ magnétique homogène, la force électromotrice croît, dans le premier quadrant du cercle décrit lors de la rotation, de zéro à un maximum déterminé, elle revient à zéro dans le deuxième quadrant, change ensuite de direction, augmente de nouveau dans le troisième quadrant de zéro jusqu'au maximum indiqué et tombe de nouveau à zéro dans le quatrième quadrant. La force électromotrice change deux fois sa direction pendant une rotation complète de la bobine. Si l'on met celle-ci en communication avec un circuit extérieur, en amenant ses deux extrémités sur deux anneaux métalliques reposant sur son axe et isolés l'un de l'autre, et faisant frotter des ressorts sur ces anneaux, il se produit un courant qui suit toutes les variations de la force électromotrice. Ce courant, qui périodiquement s'élève de zéro à un maximum, revient ensuite à zéro et change de sens, est désigné sous le nom de *courant alternatif*.

Si le courant doit toujours circuler dans le même sens dans le circuit extérieur, il faut établir un dispositif à l'aide duquel, à chaque fois que la force électromotrice renverse sa direction dans la bobine, est changée la communication de la bobine avec le circuit extérieur. On peut obtenir ce résultat en reliant les extrémités de la bobine à deux demi-cylindres isolés l'un de l'autre, fixés sur l'axe de rotation et sur lesquels frottent deux ressorts. Ces derniers doivent être placés de façon à abandonner l'un des demi-cylindres et à passer sur l'autre, lorsque la force électromotrice change sa direction. On nomme ce dispositif *commutateur*.

Les machines à induction se composent essentiellement de l'*armature* ou *inducteur*, corps autour duquel est enroulé un fil de cuivre, qui tourne dans le champ magnétique et dans l'enroulement duquel un courant électrique est induit par la rotation des *aimants* pour la production du champ magnétique et du *collecteur* (ou du commutateur), dans lequel se termine l'enroulement de l'armature. L'armature et le collecteur sont fixés sur un axe rotatif commun, sur la poulie duquel est transmise à l'aide d'une courroie la force du moteur. Sur le collecteur frottent des brosses ou balais métalliques, qui sont en communication conductrice avec les bornes de la machine.

L'armature est généralement annulaire ou cylindrique. Dans le premier cas, elle forme un anneau en fer et est appelée *armature en anneau*. On distingue l'armature en anneau plat et l'armature en anneau cylindrique. On nomme l'armature de forme cylindrique *armature en tambour*. En général, l'armature est pourvue d'un noyau en fer. Ce dernier a pour but d'offrir une résistance magnétique aussi faible que possible pour le passage des lignes de force d'un pôle à l'autre, et de renforcer aussi le champ magnétique. Pour éviter la production de courants de Foucault, on forme l'armature de disques minces en tôle de fer, qui, isolés entre eux au moyen de papier ou d'une autre substance, sont pressés les uns sur les autres. L'armature est disposée de façon qu'elle se meuve dans l'intervalle des épanouissements polaires des aimants ou qu'elle entoure le champ magnétique. La première disposition est l'ordinaire et on nomme les machines qui en sont pourvues *machines à pôles extérieurs*. La der-

nière disposition, qui exige une armature annulaire, est employée lorsque, avec de grandes machines, le nombre de tours ne doit pas être trop grand. On donne à ces machines le nom de *machines à pôles intérieurs*.

L'enroulement de l'armature entoure un seul noyau en fer de forme simple, ou il se divise en un certain nombre de bobines séparées, avec ou sans noyau en fer, ou bien il ne forme pas de bobine. Au premier mode d'enroulement appartiennent :

1. Les armatures, dont l'enroulement forme un conducteur de courant ininterrompu. Telles sont les armatures en anneau de GRAMME et de SCHUCKERT et les armatures en tambour d'HEFNER-ALTENECK et d'EDISON.

2. Les armatures dont l'enroulement se compose de plusieurs conducteurs de courant séparés, comme les armatures en anneau de BRUSH et les armatures en tambour de THOMPSON-HOUSTON.

Au deuxième mode d'enroulement appartiennent :

3. Les armatures dans lesquelles les axes des bobines sont perpendiculaires à l'axe de rotation de l'armature — armatures à pôles.

4. Les armatures dans lesquelles les axes des bobines sont parallèles à l'axe de rotation de l'armature — armatures à bobines séparées.

Au troisième mode d'enroulement appartiennent :

5. Les armatures dans lesquelles les fils sont disposés sur un disque ou radialement — armatures à disque ou en roue.

Les *aimants* pour la production du champ magnétique sont des aimants permanents ou des électro-aimants. Les machines dont les aimants sont des aimants permanents sont appelés *machines magnéto-électriques* ou simplement *magnétos*. Les électro-aimants sont en général préférés aux aimants permanents, parce que, à dimensions égales, ils peuvent être rendus plus puissants que les aimants permanents, et parce que le champ magnétique peut être renforcé ou affaibli par modification du courant excitateur. Les électro-aimants sont excités par une source de courant particulière ou bien ils reçoivent le courant excitateur de la machine elle-même. Les machines dont les électro-aimants sont excités par une source de courant particulière — les *machines à excitation séparée ou indépendante* — ne sont employées que dans les grandes installations.

Les machines à auto-excitation, les *machines dynamo-électriques* ou *dynamos*, sont celles qui sont généralement employées. Elles reposent sur le principe dynamo-électrique indiqué par WERNER SIEMENS. D'après ce principe, le faible magnétisme qui est resté d'une aimantation antérieure, dans les noyaux en fer des électro-aimants (magnétisme rémanent), suffit pour induire dans l'armature en rotation une faible force électromotrice. Par suite de cela, il circule autour des branches de l'aimant un faible courant, qui renforce le champ magnétique, et de son côté ce dernier accroît la force électromotrice, et ainsi de suite.

Dans les grandes machines, on emploie, pour éviter que les carcasses magnétiques aient de trop grandes dimensions, plusieurs aimants, 4, 6, 8 et plus, dont les pôles alternants agissent en même temps sur l'armature. On distingue les machines, d'après le nombre des aimants, en machines bipolaires et machines multipolaires.

Le *collecteur* (ou le *commutateur*) représente un corps cylindrique creux composé de segments de cuivre (lamelles). Les lamelles sont isolées



les unes des autres et de l'axe (au moyen de mica, de micanite, de papier préparé, de fibres vulcanisées). Sur ces lamelles sont fixés, au moyen de vis ou par soudage, les fils de l'armature. Le collecteur cède le courant aux deux brosses métalliques ou balais qui frottent sur lui et sont en communication couductrice avec les bornes de la machine. Les balais sont formés de fils métalliques, de lames métalliques minces, de torons de fils métalliques ou de toile métallique. Ils frottent tangentiellement le collecteur ou bien ils sont appuyés sur lui obliquement ou perpendiculairement. La communication avec le circuit extérieur est établie à l'aide des bornes.

On distingue les machines à induction en *machines à courant alternatif* et *machines à courant continu*.

Comme on l'a déjà dit, les *machines à courant alternatif* fournissent un courant dont la direction varie. On les distingue en machines pour courant alternatif monophasé et machines pour courant alternatif polyphasé (courant tournant).

Les machines à courant continu fournissent un courant pulsatoire de direction constante. Comme on l'a expliqué, on obtient ce dernier en transformant les pulsations alternatives du courant de l'armature, au moyen d'un commutateur, en pulsations dirigées dans le même sens. Par un enroulement approprié de l'armature, le courant continu pulsatoire est converti en un courant continu réel.

Un courant de direction et d'intensité constantes est nécessaire pour les *opérations électrolytiques*. On ne peut, par suite, employer pour ces dernières que des *machines à courant continu*. On peut au contraire avoir recours à des *machines à courant alternatif* pour les opérations dans lesquelles le courant électrique sert uniquement pour la *production de chaleur*.

On distingue les *machines dynamo-électriques pour courant continu*, suivant la disposition de l'enroulement de l'armature et des branches de l'aimant, en *machines à excitation en série*, *machines en dérivation* ou à *excitation dérivée* et *machines à enroulement mixte* ou à *excitation en double circuit*.

Les *machines à excitation en série* sont celles dans lesquelles l'armature, les branches de l'aimant et le circuit extérieur sont placés l'un derrière l'autre. Comme le montre la figure 172, le courant passe, de l'un des balais B (celui qui se trouve en bas dans la figure) par l'enroulement inducteur, suivant la direction des flèches, dans le circuit extérieur, entre les bornes  $K_D$ ,  $K_D$  et ensuite dans l'autre balai.

La machine exige un enroulement inducteur de faible résistance, fait par conséquent d'un fil d'un grand diamètre, afin que la perte de tension dans la machine elle-même ne soit pas trop grande. Lorsque celle-ci doit être mise en activité, il faut d'abord la fermer au moyen d'une *petite résistance extérieure*. L'armature A, avec le commutateur, est ensuite mise en mouvement. Le faible magnétisme, qui est resté d'une aimantation précédente dans les noyaux en fer de l'électro-aimant (magnétisme rémanent), produit un léger champ magnétique et une légère force électromotrice prend naissance dans l'armature. Cette force communique une puissance plus grande au champ magnétique et ce dernier accroit à son tour la force

électromotrice dans l'armature et en même temps l'intensité du courant. Comme la résistance de l'enroulement inducteur, de même que celle du

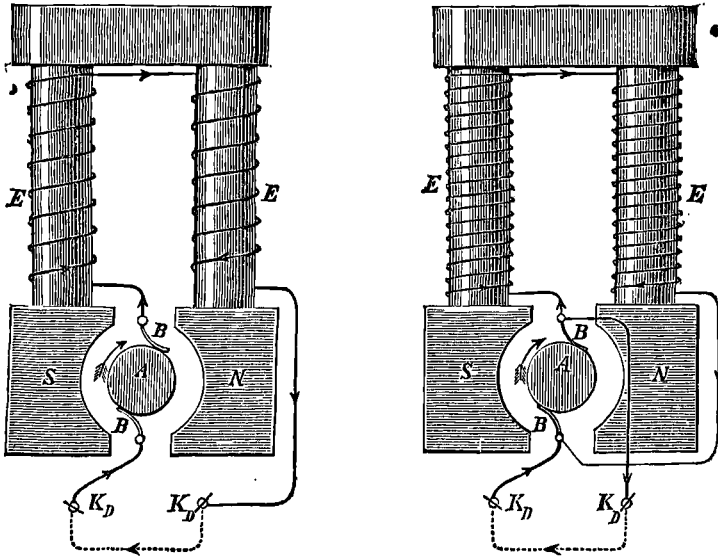


Fig. 172. — Machine à excitation en série. Fig. 173. — Machine à excitation dérivée.

circuit extérieur, offrent peu d'intensité, il se produit bientôt un courant

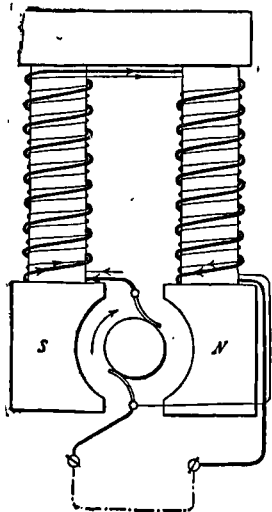


Fig. 174. — Machine à excitation en double circuit.

énergique. La puissance du champ et la force électromotrice se renforcent réciproquement, jusqu'à ce qu'on ait atteint la saturation du noyau de fer, à laquelle les lignes de force ne peuvent plus être poussées au delà d'une certaine densité. La machine ne démarre bien qu'avec une certaine résistance extérieure. Avec une grande résistance, la force électromotrice de la machine est faible et, la résistance diminuant, elle croît d'abord rapidement et ensuite lentement jusqu'à une valeur limite supérieure. Dans l'électrolyse, il se produit, comme il sera expliqué plus loin, une force contre-électromotrice, qui, la machine motrice venant à faire défaut, donne naissance à un courant en sens contraire. Les pôles magnétiques sont renversés, la cathode devient l'anode et le processus électrolytique rétrograde, jusqu'à ce qu'on remédie à l'accident. La possibilité du renversement des pôles magnétiques lors de l'électrolyse, et la nécessité

d'une résistance seulement extrêmement faible, rendent les machines à excitation en série très peu propres pour l'électrolyse. C'est pour cela qu'on ne s'en sert pas dans les opérations électrolytiques.

Les *machines à excitation dérivée* (fig. 173) sont celles dans lesquelles les balais sont mis en communication par deux circuits. L'un va du premier balai au second en contournant les branches de l'aimant; l'autre va du deuxième balai au premier par le circuit extérieur. Les aimants et le circuit extérieur sont ici montés en dérivation. L'intensité du courant dans les deux branches de courant est inversement proportionnelle à la résistance de celles-ci. Comme la branche de courant traversant le circuit extérieur peut seule être employée pour l'électrolyse, on rendra aussi

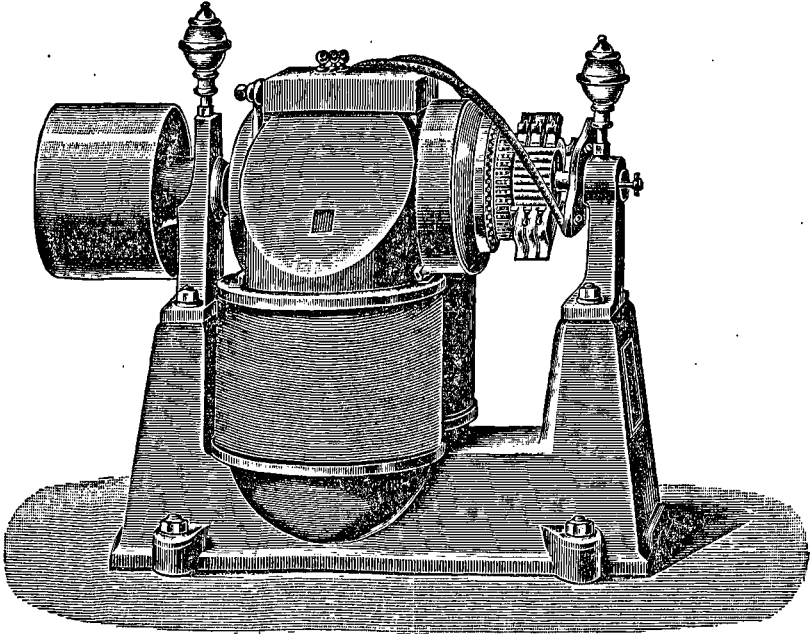


Fig. 173. — Nouvelle machine dynamo-électrique de Siemens-Halske pour le raffinage électrolytique du cuivre.

faible que possible l'intensité du courant dans le circuit contournant les aimants, ou par conséquent aussi grande que possible la résistance de l'enroulement inducteur. Il faudra donc employer un fil mince, mais faire les enroulements aussi nombreux que possible, afin d'obtenir une énergie excitation des aimants. Ces machines sont indépendantes des processus qui se passent dans le circuit extérieur. Le courant qui traverse l'enroulement inducteur conserve dans ces machines sa direction primitive, même lorsque le courant extérieur, pendant l'électrolyse, par suite de la prédominance de la force contre-électromotrice, renverse sa direction.

*C'est pour cela que pour les opérations électrométallurgiques (électrolytiques) on emploie presque exclusivement des machines à excitation dérivée.*

*Les machines à enroulement mixte ou à excitation en double circuit,*

ou *dynamos compound* (fig. 174) représentent une combinaison des machines à excitation en série et des machines à excitation dérivée. Le courant passe de l'un des balais (celui qui se trouve en haut dans la figure) autour des aimants dans deux conducteurs, dont l'un est un fil mince, l'autre un fil épais. Le fil mince conduit directement au deuxième balai, tandis que le fil épais amène le courant au circuit extérieur et de l'extrémité de celui-ci au deuxième balai.

Ces machines réunissant sur leurs aimants les enroulements en série et les enroulements en dérivation peuvent, avec des résistances extérieures extrêmement variables, conserver la même tension aux bornes. Elles peuvent aussi être construites de façon à fournir sans interruption, avec une résistance extérieure extrêmement variable, la même intensité de courant. Elles n'ont pas trouvé emploi pour les opérations électrométallurgiques.

Une nouvelle machine dynamo-électrique construite par la SOCIÉTÉ SIEMENS ET HALSKE, de Berlin, pour le raffinage électrolytique du cuivre, est représentée par la figure 175. Le simple examen de la figure suffit pour faire comprendre la disposition de son armature en tambour, du commutateur, des balais, des bornes, des champs magnétiques et de l'enroulement de ceux-ci, des épanouissements des pôles et de la poulie destinées à transmettre la force du moteur à la machine. Les noyaux des branches avec les épanouissements polaires et la carcasse magnétique sont coulés d'une seule pièce.

On a groupé dans le tableau suivant les données relatives aux nouvelles machines construites par la SOCIÉTÉ SIEMENS ET HALSKE pour le raffinage électrolytique du cuivre :

MODÈLE DE LA DYNAMO	cH <sub>7</sub>	cU <sub>7</sub>	cH <sub>8</sub>	cII <sub>14</sub>	cH <sub>17</sub>	cII <sub>40</sub>	cH <sub>20</sub>
Tension aux bornes, en volts . . . . .	40	20	35	30	50	75	100
Intensité de courant, en ampères. . . . .	120	240	240	400	400	400	400
Consommation de force, en chevaux-vapeur. . . . .	7	7	13	19	31	47	62
Nombre des bains montés en séries . . . . .	32	16	32	28	45	65	90
Cuivre précipité en 24 heures, kilogrammes. . . . .	100	100	200	300	500	700	1000

### III. — THÉORIE DE L'ÉLECTROLYSE

Les opinions qui règnent actuellement au sujet de l'électrolyse sont basées sur la théorie de la dissociation électrolytique d'ARRHÉNIUS, ainsi que sur les principes et les lois établis par VAN'T HOFF, OSTWALD et NERNST. Nous renverrons ceux qui désirent avoir sur ce sujet des renseignements étendus aux ouvrages d'OSTWALD<sup>1</sup>, de NERNST<sup>2</sup>, de WIEDEMANN<sup>3</sup> et

<sup>1</sup> *Lehrbuch der allgemeinen Chemie*, Leipzig, 1893; *Elektrochemie*, Leipzig, 1894.

<sup>2</sup> *Theoretische Chemie*, Stuttgart, 1893.

<sup>3</sup> *Elektrizität*, Braunschweig 1894.

de **LEBLANC**<sup>1</sup>. Nous ne donnerons dans les pages suivantes qu'un court exposé des faits les plus importants.

D'après **VAN'T HOFF**, des volumes égaux des solutions les plus différentes renferment à *pression osmotique* et à *température égales* un nombre égal de molécules et ce nombre est celui qui à la même tension et à la même température est contenu dans un de ces volumes.

L'expérience suivante fera comprendre en quoi consiste la **pression osmotique**. Dans un vase rempli d'eau, introduisons un tube fermé inférieurement par une membrane demi-perméable et contenant une quantité de solution sucrée suffisante pour que les liquides soient au même niveau dans les deux vases. La membrane demi-perméable préparée d'une façon particulière ne donne libre passage qu'à l'eau, mais non au sucre dissous. Maintenant, dès que le tube avec la solution sucrée est introduit dans le vase contenant l'eau, de l'eau passe de ce dernier à travers la membrane et le liquide monte dans le tube, de sorte que dans celui-ci la colonne acquiert une plus grande hauteur. Si l'on veut empêcher son ascension, il faut exercer une pression sur la colonne liquide. Cette pression, qui est nécessaire pour maintenir la colonne liquide dans sa position primitive, nous indique la pression osmotique. C'est la pression qui est produite par l'effort expansif des molécules de sucre qui se trouvent dans la solution.

Maintenant, on a constaté, lors de la détermination du poids moléculaire des électrolytes ou conducteurs de la deuxième classe à l'aide de la pression osmotique, que les poids moléculaires ainsi déterminés étaient beaucoup plus petits qu'on ne pouvait s'y attendre, d'après la détermination des densités de vapeur et d'après la manière dont ces corps se comportent chimiquement. En d'autres termes, ils montrent dans leurs solutions aqueuses des pressions osmotiques trop hautes. Ce défaut de concordance a été expliqué par la **théorie de la dissociation électrolytique**, établie par **ARRHENIUS** en 1887. D'après cette théorie, il se produit lors de la dissolution des électrolytes une dissociation de leurs molécules en ions *libres, mais d'électricité contraire*. (La dissociation des molécules n'est pas tout à fait complète, elle augmente avec la dilution des dissolutions jusqu'à une certaine limite.)

On avait déjà antérieurement considéré les ions comme des véhicules de l'électricité (**HITTORF**, **KOHLRAUSCH**) : l'hydrogène et les métaux comme véhicules des charges positives (cathions), les radicaux acides comme véhicules des charges négatives (anions), mais on ne les regardait pas comme des ions se trouvant à l'état de liberté. C'est seulement après qu'**ARRHENIUS** eût fait connaître sa théorie qu'on fut amené à les considérer comme ions libres. D'après cette théorie, une solution aqueuse de chlorure de sodium doit donc contenir des ions-sodium libres et des ions-chlore libres, une lessive de soude des ions-sodium libres et des ions-hydroxyle libres, une solution d'acide sulfurique, des ions-hydrogène libres et des ions-tétroxyde de soufre libres, etc.

Les ions apparaissent chargés dès le moment où ils prennent naissance, et cela à une pression qui ne nous est pas connue, et avec une quantité

*Lehrbuch der Elektrochemie*, Leipzig, 1900.

d'électricité, qui s'élève, d'après la loi de FARADAY à 1 F (96540 coulombs) par gramme-équivalent. Comme l'unité de charge (1 F) adhère au gramme-équivalent, tandis que nos formules indiquent des grammes-molécules, à tout poids correspondant à la formule d'un ion bivalent est attachée la quantité double d'électricité, à tout poids correspondant à la formule d'un ion trivalent ou d'un ion quadrivalent est attachée la quantité triple ou quadruple d'électricité.

Les ions se distinguent des atomes élémentaires par leurs charges électriques. Le mode de production de ces charges ne peut pas encore être indiqué avec certitude. On peut seulement dire que lorsqu'un atome passe à l'état d'ion, l'énergie qui y adhère éprouve une transformation, de telle sorte qu'une partie de cette énergie se convertit, sous l'influence du dissolvant, en énergie électrique et forme les charges électriques. (Mais lors de la production des ions, l'énergie tout entière se transforme, quelques-uns des éléments abandonnant de l'énergie sous forme de chaleur, d'autres absorbant de la chaleur.)

La possibilité de l'existence dans une solution les unes à côté des autres de particules chargées positivement et de particules chargées négativement, sans qu'elles se réunissent en particules électriquement neutres, doit être attribuée aux propriétés du dissolvant.

Les ions tendent à conserver leurs charges d'électricité et à demeurer à l'état d'ions. La quantité d'électricité y adhère donc avec une certaine force, dite l'intensité d'adhésion.

Si maintenant on plonge dans un électrolyte deux électrodes qui sont alimentées d'électricité par une source de courant, l'une d'électricité positive, l'autre d'électricité négative, les ions de l'électrolyte se mettent en mouvement. Par la section de l'électrolyte il passe à chaque instant un nombre d'ions positifs dans une direction et d'ions négatifs dans la direction opposée. *Il passe, comme on dit, un courant électrique à travers le liquide, l'électricité étant transportée par les ions.* Tandis que dans les conducteurs métalliques du circuit, dans les conducteurs de la première classe, il passe toujours à travers leur section la même quantité d'électricité positive et d'électricité négative, il n'en est pas ainsi (ou du moins très rarement) pour les conducteurs de la deuxième classe, pour les électrolytes. Le nombre des ions positifs et négatifs traversant l'électrolyte en un temps déterminé n'est pas le même. Cela dépend de la mobilité différente des ions. Si, par exemple, l'ion hydrogène et l'ion chlore sont soumis à des forces égales, l'ion hydrogène circule cinq fois plus rapidement que l'ion chlore. (F. KOHLRAUSCH et L. HOLBORN<sup>1</sup> ont groupé dans un tableau les vitesses des ions dans les électrolytes les plus importants.)

La conductibilité spécifique des électrolytes ( $= \frac{1}{W}$ , si W indique la résistance spécifique en ohms) augmente avec la température et d'autant plus lentement qu'elle est déjà plus grande. En outre, elle augmente avec la concentration jusqu'à une certaine valeur maxima, pour diminuer ensuite.

Comme ce sont les ions qui transportent l'électricité et comme chaque gramme-équivalent des ions en mouvement est chargé de la même quan-

<sup>1</sup> *Das Leitungsvermögen der Elektrolyte.*

tité d'électricité, on a introduit, à la place de la conductibilité se rapportant aux dimensions du liquide (1 cm de longueur et un cm<sup>2</sup> de section) la *conductibilité moléculaire*, c'est-à-dire la conductibilité des dissolutions qui renferment en dissolution 1 gramme-équivalent ou 1 gramme-molécule. Si l'on rapporte la conductibilité au nombre des équivalents contenus dans un litre de solution, on lui donne le nom de *conductibilité équivalente*. Pour les corps monovalents, la conductibilité équivalente est égale à la conductibilité moléculaire. Pour les rapports entre la conductibilité et la concentration des dissolutions, on indique aussi la concentration, non pas en unités ou fractions d'unité pour 100, mais par le nombre des grammes-équivalents, qui sont contenus dans un volume déterminé de la solution.

Une série de recherches ont montré que pendant que la conductibilité spécifique diminue à mesure que la dilution augmente, la *conductibilité équivalente croît avec la dilution* et atteint en général à une très grande dilution une valeur limite. Cela s'explique par ce fait que la conduction de l'électricité ne peut être produite que par le mouvement d'ions libres, mais non par des molécules non dissociées. Si donc la conductibilité équivalente augmente avec la dilution, le nombre des ions libres doit s'accroître avec celle-ci, un certain nombre de molécules, qui auparavant n'étaient pas encore dissociées, se décomposant en ions à mesure que la dilution devient plus grande. Lorsque toutes les molécules sont dissociées, la conductibilité *maxima* est atteinte.

On nomme **coefficient de dissociation** ou **degré de dissociation** la fraction des molécules présentes de l'électrolyte qui se sont décomposées en leurs ions. Le coefficient de dissociation d'une solution est égal au rapport de la conductibilité équivalente de cette solution et de la conductibilité maxima. La valeur de cette dernière est égale à la somme des deux valeurs qui correspondent aux deux éléments de l'électrolyte et doivent être proportionnelles aux vitesses de transport des ions. Car plus est grande la vitesse des ions en migration, plus est grande la quantité d'électricité transportée dans le même temps et plus aussi est grande la conductibilité de l'électrolyte. En d'autres termes : La conductibilité d'un électrolyte est égale à la somme des conductibilités de ses ions. On nomme cette loi, établie par KOHLRAUSCH, la *loi des vitesses de transport indépendantes*.

Comme on l'a déjà dit, la même charge d'électricité n'échoit qu'à des ions libres *équivalents*. Si nous soumettons à l'électrolyse deux électrolytes dans lesquels le même métal est combiné au même anion en valences différentes, par exemple,  $\text{Cu}^2\text{Cl}^2$  et  $\text{CuCl}^2$ , il est toujours séparé la même quantité de chlore ( $\text{Cl}^2$ ), c'est-à-dire que toujours le même nombre d'ions-chlore se transportent à l'anode avec des charges égales ; par conséquent, l'ion-cuivre doit être pourvu dans un cas ( $\text{Cu}^2 \text{Cl}^2$ ) de la charge simple, dans l'autre cas de la charge double.

Lors du passage du courant électrique à travers les électrolytes, les ions chargés positivement, les cations, se rendent à la cathode, les ions chargés négativement, les anions, à l'anode. Maintenant, un corps ne peut exister à l'état d'ion que s'il est chargé d'une quantité déterminée d'électricité. Si cette quantité d'électricité lui est enlevée, *il sort de l'état*

*d'ion et se sépare, à la place où il a pris la charge, à l'état neutre ou moléculaire.* Cette séparation ne cesse que lorsqu'il participe, à la place où sa charge lui est enlevée, à d'autres processus, à des processus dits secondaires.

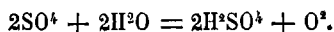
Maintenant, l'électricité est enlevée aux cathions chargés d'électricité positive aux cathodes et la même chose a lieu aux anodes pour les anions chargés d'électricité négative.

Par conséquent, tant que les anodes sont chargées d'électricité positive et les cathodes d'électricité négative, les cathions vont à la cathode et les anions à l'anode, afin de s'y séparer à l'état moléculaire ou neutre, après avoir abandonné leur charge électrique. Pour que l'électrolyse marche sans interruption, il faut prendre soin que les électrodes reçoivent de la source de courant une charge continue. Dans les opérations électrométallurgiques, les ions sont chargés d'électricité, comme on l'a déjà dit, au moyen de machines dynamo-électriques.

Les exemples suivants faciliteront l'intelligence du processus électrolytique.

Si l'on dissout du chlorure de zinc ( $\text{Zn Cl}^2$ ) dans de l'eau, il se décompose en ions-zinc ( $\text{Zn}$ ) chargés d'électricité positive et ions-chlore ( $\text{Cl}$ ) chargés d'électricité négative. Tant que le zinc et le chlore se trouvent à l'état d'ions, leur existence n'est pas manifeste. Ils ne peuvent affecter nos sens que lorsqu'ils ont perdu leurs charges électriques et qu'ils passent ainsi à l'état neutre ou moléculaire. Versons cette dissolution dans un bain, où plongent les pôles d'un courant produit par une machine dynamo électrique. Tant que le courant ne pénètre pas dans la dissolution, tant que, par conséquent, le circuit n'est pas fermé, il ne se produit pas de transport d'ions. Mais dès que le circuit est fermé et que l'anode et la cathode sont ainsi chargées, la première, d'électricité positive, la seconde, d'électricité négative, les ions-zinc se rendent à la cathode, y déchargent leur électricité positive, arrivent ainsi à l'état neutre ou moléculaire et se séparent sous forme de zinc. Les ions-chlore passent à l'anode, y abandonnent leur charge d'électricité négative et se séparent sous forme de chlore.

Dans nombre de cas, il se produit encore à une des électrodes ou aux deux des modifications chimiques des corps séparés à l'état neutre (processus secondaires), ceux-ci y trouvant encore l'occasion d'agir chimiquement sur d'autres corps. Une modification du corps séparé à l'anode a lieu, par exemple, lors de l'électrolyse du sulfate de cuivre ( $\text{Cu SO}^4$ ) entre des électrodes en charbon. Lors de la dissolution du sulfate de cuivre dans l'eau, il se forme des ions-cuivre et des ions-tétraoxyde de soufre ( $\text{SO}^4$ ). Le cuivre se sépare à l'état moléculaire à la cathode, tandis que le résidu d'acide sulfurique  $\text{SO}^4$  va à l'anode et, après avoir perdu l'état d'ion, y forme, en décomposant l'eau de l'électrolyte et dégageant de l'oxygène, de l'acide sulfurique, d'après l'équation :



Une modification des corps séparés aux deux électrodes a lieu, par exemple, lors de l'électrolyse du sulfate de potassium,  $\text{K}^2\text{SO}^4$ . A l'anode



se sépare le résidu d'acide sulfurique  $\text{SO}_4$ , qui se transforme, comme il est dit plus haut, avec dégagement d'oxygène, en acide sulfurique. Les ions-potassium se rendent à la cathode. Mais le potassium séparé à l'état neutre, après avoir perdu son état d'ion, ne peut pas exister à l'état libre, en présence de l'eau de l'électrolyte. Il forme avec l'oxygène de celle-ci, en dégageant de l'hydrogène, de la potasse caustique, d'après l'équation :



Il se sépare donc à la cathode de l'hydrogène et à l'anode de l'oxygène, tandis que, en même temps, il se rassemble à la première de la potasse caustique et à la seconde de l'acide sulfurique libre.

Si nous soumettons du chlorure de cuivre à l'électrolyse et si à l'anode il se trouve une solution de protochlorure de cuivre, il se forme du bichlorure de cuivre. Si, lors de l'électrolyse de chlorure de zinc, il se trouve à l'anode une solution de protochlorure de fer, du perchlorure de fer prend naissance. Si lors de l'électrolyse de chlorure d'étain, il se trouve à l'anode une solution de chlorure stanneux, il se forme du chlorure stannique.

Les opérations électrométallurgiques ont aussi pour but de faire entrer des métaux en dissolution et de les séparer des solutions produites. Si nous voulons faire entrer un métal en dissolution (et le séparer de la solution), il faut le faire passer de l'état moléculaire à l'état d'ion. Nous avons vu qu'un métal qui se trouve à l'état d'ion doit perdre sa charge électrique tout entière pour passer à l'état moléculaire. Inversement, un métal à l'état moléculaire que l'on doit faire passer à l'état d'ion, doit être chargé d'une quantité d'électricité positive égale à celle qui lui est enlevée lors de son passage à l'état moléculaire.

Maintenant, des corps mis en contact avec un dissolvant tendent avec une certaine force à passer à l'état dissous. Cette tendance dure jusqu'à ce que la contre-pression osmotique des molécules entrées en dissolution exclut la pénétration d'autres molécules, dans lequel cas la solution est saturée.

Si le corps solide est un corps qui en se dissolvant forme des ions, il a, au contact du dissolvant, une tendance à passer à l'état d'ions. Nous nommons la pression avec laquelle il envoie ses ions dans ces dissolutions *pression de dissolution électrolytique* ou *tension de dissolution électrolytique*. Cette pression varie avec les différents corps formant des ions. Certains métaux de haute pression de dissolution électrolytique se trouvant à l'état moléculaire peuvent, sans qu'un apport extérieur d'électricité soit nécessaire, enlever leur charge électrique à d'autres métaux se trouvant à l'état d'ions et qui, à l'état moléculaire, possèdent une faible pression de dissolution électrolytique, ou à l'hydrogène se trouvant à l'état d'ion, et passer ainsi à l'état d'ions avec séparation à l'état moléculaire de ces métaux ou de l'hydrogène. Ainsi, par exemple, une certaine quantité de zinc sépare de leur dissolution des quantités équivalentes d'hydrogène, de plomb, de cuivre et de métaux précieux, pendant que le zinc lui-même entre en dissolution. De la même manière, le cuivre et l'argent sont séparés de leur dissolution le premier par le fer, le second par le cuivre. L'excès de pression électrolytique d'un corps se dissolvant

sur la contre-pression osmotique des ions se trouvant en dissolution représente, dans les éléments galvaniques, la force électromotrice de ceux-ci.

Les métaux (et l'hydrogène) formant des ions positifs doivent, en vue de leur dissolution, être chargés d'électricité positive. Dans ce cas, on forme avec les métaux à dissoudre le pôle positif, l'anode. Si nous prenons par exemple, le cuivre comme anode, une solution à peu près saturée de sulfate de cuivre comme électrolyte et une plaque de cuivre comme cathode, et si à l'aide d'une machine dynamo-électrique nous alimentons l'anode avec de l'électricité positive, la cathode avec de l'électricité négative, les ions-cuivre entrent en dissolution à l'anode et produisent aussitôt à la cathode la séparation à l'état moléculaire d'une quantité équivalente de cuivre.

Comme la solution est à peu près saturée, sa pression osmotique est favorable pour la séparation des substances dissoutes. La pression de dissolution des particules de cuivre de l'anode est plus faible; la contre-pression osmotique des cathions qui se trouvent déjà dans la dissolution lui fait équilibre. Comme maintenant l'anode est chargée d'électricité positive de faible tension, le cuivre reçoit un léger excès de pression sur la pression osmotique des cathions se trouvant dans la dissolution, excès qui fait que de grandes quantités de cuivre passent de l'anode à la cathode où elles se séparent à l'état moléculaire. Les charges d'électricité abandonnées à la cathode par les ions-cuivre retournent par le conducteur à l'anode. On peut donc avec une faible tension de courant (0,2 à 0,4 volt) faire passer de l'anode à la cathode de grandes quantités de cuivre et les y précipiter à l'état moléculaire.

Les métaux de haute tension entrent en dissolution avant les métaux de tension plus faible, tandis que, inversement des dissolutions mixtes, les métaux de faible tension sont séparés les premiers. En employant une tension convenable, il est donc possible de faire entrer en dissolution, d'un alliage, le métal occupant le rang le plus élevé dans l'échelle des tensions et de laisser indissous le métal de tension moindre.

On sépare de cette manière d'avec l'argent le cuivre contenu dans des alliages cuivre-argent; d'avec l'or l'argent contenu dans des alliages or-argent. La tension doit être ménagée de façon que dans le premier cas, le cuivre seul entre en dissolution et se sépare à la cathode, et que dans le second, l'argent seul se dissolve et se sépare à la cathode.

Nous basant sur les explications qui viennent d'être données relativement à l'électrolyse, nous définirons celle-ci, d'après W. BORCHERS<sup>1</sup>, *un transport d'électricité par des ions, dans lequel les cathions entraînent de l'électricité positive dans une direction, les anions de l'électricité négative dans la direction opposée, transport combiné avec le passage de corps neutres à l'état d'ions ou le passage des ions à l'état neutre, ou combiné avec le changement de la capacité de charge ou de la valence des ions.*

Considérant la loi de FARADAY, mentionnée précédemment, loi d'après laquelle des quantités d'électricité de 96 540 coulombs sont nécessaires pour décomposer une combinaison quelconque conductrice, et la compa-

<sup>1</sup> *Traité d'électrometallurgie*, édit. française par L. GAUTIER, p. 9. Paris, CH. BÉRANGER.

rant avec la théorie de l'électrolyse qui vient d'être exposée, OSTWALD l'énonce de la manière suivante :

*Tout mouvement d'électricité dans l'électrolyte n'a lieu qu'avec mouvement simultané des ions, et de façon qu'avec des quantités égales d'électricité se meuvent des quantités chimiquement équivalentes des différents ions. Par conséquent, des quantités équivalentes de différents ions ont une même capacité d'énergie électrique.*

Avec chaque valence de 1 gramme-molécule d'un ion est transportée dans chaque direction la quantité d'électricité de 96 540 coulombs (v. HELMHOLTZ).

ÉLÉMENTS	SYMBOLES	POIDS atomiques.	VALENCES	POIDS équivalents	ÉQUIVALENTS ÉLECTRO-CHIMIQUES.	
					Pour 1 coulomb mgr.	Pour 1 amp. heure gr.
Aluminium . . . . .	Al	27,0	3	9,0	0,0935	0,337
Antimoine. . . . .	Sb	119,6	3	39,9	0,414	1,492
Argent . . . . .	Ag	107,66	1	107,66	1,118	4,025
Azote . . . . .	Az	14,0	3	4,67	0,0485	0,175
Bismuth. . . . .	Bi	208,4	3	69,5	0,721	2,597
Brome. . . . .	Br	79,8	1	79,8	0,829	2,974
Cadmium . . . . .	Cd	111,6	2	55,8	0,580	2,087
Calcium. . . . .	Ca	39,9	2	19,95	0,207	0,746
Carbone. . . . .	C	11,97	4	2,99	0,0311	0,112
Chlore. . . . .	Cl	35,36	1	35,36	0,367	1,322
Cobalt. . . . .	Co	58,7	2	29,35	0,305	1,097
			3	19,57	0,203	0,732
Cuivre. . . . .	Cu	63,2	1	63,2	0,656	2,362
			2	31,6	0,328	1,181
Étain . . . . .	Sn	118,8	2	59,4	0,617	2,221
			4	29,7	0,309	1,112
Fer . . . . .	Fe	55,87	2	27,94	0,290	1,045
			3	18,62	0,193	0,696
Hydrogène. . . . .	H	1	1	1	0,0104	0,037
Iode. . . . .	I	126,5	1	126,5	1,313	4,727
Magnésium . . . . .	Mg	24,3	2	12,15	0,126	0,454
Manganèse. . . . .	Mn	54,8	2	27,4	0,284	1,022
			3	18,3	0,190	0,684
Mercurc . . . . .	Hg	199,8	1	199,8	2,075	7,470
			2	99,9	1,037	3,733
Nickel. . . . .	Ni	58,6	2	29,3	0,304	1,094
			3	19,5	0,202	0,727
Or. . . . .	Au	196,8	3	65,6	0,681	2,452
Oxygène. . . . .	O	15,96	2	7,98	0,0829	0,298
Phosphore. . . . .	P	30,9	3	10,3	0,107	0,385
Platine . . . . .	Pt	194,4	4	48,6	0,504	1,814
Plomb. . . . .	Pb	206,4	2	103,2	1,071	3,852
Potassium . . . . .	K	39,02	1	39,02	0,405	1,459
Sodium . . . . .	Na	23,0	1	23,0	0,239	0,860
Soufre. . . . .	S	31,98	2	15,99	0,166	0,598
Zinc. . . . .	Zn	65,1	2	32,55	0,338	1,217

Les quantités en poids des substances qui sont séparées des électrolytes

par 1 coulomb dans une seconde, c'est-à-dire par 1 ampère, ou qui passent à l'état d'ions, sont les mêmes quantités qui, à l'état d'ions, peuvent transporter l'unité de quantité de courant, c'est-à-dire 1 coulomb. On les désigne sous le nom d'*équivalents électrochimiques*. Nous avons groupé dans le tableau de la page 321 les équivalents électrochimiques des éléments les plus importants au point de vue métallurgique pour 1 coulomb en milligrammes et pour 1 ampère-heure en grammes<sup>1</sup>. Nous avons aussi indiqué dans le même tableau les poids atomiques, les valences et les poids équivalents.

On voit, d'après ce tableau, que certains métaux ont différentes valences et que, par suite, leurs ions possèdent différentes capacités de charge. Ainsi, nous avons un cuivre monovalent et un cuivre bivalent, un cobalt bivalent et un cobalt trivalent, un fer bivalent et un fer trivalent, un étain bivalent et un étain quadrivalent. Par exemple, d'une solution du cuivre monovalent, c'est-à-dire d'une solution d'un sel de protoxyde de cuivre ou d'un sel cuivreux, il est séparé par 1 coulomb 0,656 milligramme de cuivre, tandis que de la solution du cuivre bivalent, c'est-à-dire de la solution d'un sel de bioxyde de cuivre ou d'un sel cuivrique 1 coulomb n'en sépare que la moitié = 0,328 milligramme Cu. L'ion du cuivre bivalent a par conséquent une capacité de charge deux fois plus grande et par suite transporte une quantité d'électricité deux fois plus grande que l'ion du cuivre monovalent.

La quantité de métal, qui d'un électrolyte peut être séparée en une heure au moyen d'une dynamo, peut être déterminée d'après la force que peut fournir la machine dont on dispose, d'après la tension de décomposition à déterminer par expérience pour l'opération électrolytique à effectuer, ainsi que d'après l'équivalent électrochimique du métal à isoler.

Si l'on désigne par P le nombre des chevaux qui peuvent être fournis à la dynamo, par w le rendement de la dynamo (qui s'élève à 0,8 environ), par V la tension de décomposition en volts, par Q la quantité en kilogrammes de métal séparé par seconde avec 736 ampères, le poids en kilogrammes de la quantité de métal à attendre par heure de la force employée est :

$$\frac{PwQ}{V} \text{ kg.}$$

Le calcul de la tension, d'après la pression osmotique et la tension de dissolution des métaux, d'après les formules établies par NERNST, n'est pas encore devenu pratique pour les opérations électrométallurgiques.

Pour ces opérations, on détermine la tension par des expériences, ou on calcule pour celle-ci une valeur approximative, à l'aide de la formule développée précédemment (p. 307) :

$$S = \frac{W}{0,24 \cdot n \cdot F},$$

dans laquelle S désigne la tension en volts, W la tonalité thermique de la réaction considérée, F = 96 540 coulombs et n est le nombre des

<sup>1</sup> GRAWINKEL et STRECKER, *Hilfsbuch der Elektrotechnik*, Berlin, 1900.

grammes-équivalents qui prennent naissance lors de la décomposition de 1 gramme-molécule.

**Polarisation.** — Si l'on fait passer un courant à travers un électrolyte qui se trouve entre deux *électrodes inattaquables*, il se produit un affaiblissement de la force électromotrice employée pour la décomposition de l'électrolyte. On nomme ce phénomène *polarisation*. Si, par exemple, en se servant d'électrodes en platine, on fait passer un courant à travers un électrolyte, si on l'interrompt au bout de quelque temps, et si on fait communiquer les électrodes entre elles en intercalant un galvanomètre, ce dernier indique un courant qui a une *direction opposée* à celle du courant employé. On nomme ce courant *courant de polarisation*. On appelle sa force électromotrice *force électromotrice de polarisation*. Cette force se compose de deux différences de potentiel, qui ont leur siège dans les deux électrodes.

La loi de OHM :

$$A = \frac{V}{O}$$

reçoit par la polarisation la forme :

$$A = \frac{V - V'}{O},$$

si l'on désigne par A l'intensité de courant, par V la force électromotrice du courant, par V' la force contre-électromotrice de la polarisation et par O la résistance totale du circuit.

Une décomposition continue d'un électrolyte n'est possible, le maximum des concentrations des substances séparées aux deux électrodes étant atteint, qu'à partir d'une force électromotrice déterminée. LE BLANC a déterminé par des expériences, pour un certain nombre d'électrolytes, le minimum de force électromotrice nécessaire pour la décomposition, la *valeur de décomposition*, et il a obtenu les résultats suivants :

ZnSO <sup>4</sup>	= 2,35 volts.		AgAzO <sup>3</sup>	= 0,70 volts.
ZnBr <sup>2</sup>	= 1,80 —		CdSO <sup>4</sup>	= 2,03 —
NiSO <sup>4</sup>	= 2,09 —		CdCl <sup>2</sup>	= 1,88 —
NiCl <sup>2</sup>	= 1,85 —		CoSO <sup>4</sup>	= 1,92 —
Pb(AzO <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	= 1,52 —		CoCl <sup>2</sup>	= 1,78 —

Dès que la tension descend au-dessous de ces valeurs, il n'est séparé du *métal* contenu dans l'électrolyte que des quantités insignifiantes ou impondérables.

LE BLANC a trouvé pour les acides et les bases une valeur de décomposition maxima de 1,7 volt.

Comme on l'a dit, on désigne sous le nom d'intensité d'adhésion la force avec laquelle les ions cherchent à retenir leurs charges électriques. La force électromotrice nécessaire pour la décomposition doit donc être plus grande que la somme algébrique des intensités d'adhésion des deux ions.

D'un mélange de solutions de différents électrolytes avec anion commun, les cathions avec l'intensité d'adhésion la plus faible sont d'abord séparés par l'emploi d'une tension de courant appropriée. Si, après leur

séparation, la tension n'a pas été élevée au degré nécessaire à l'intensité d'adhésion immédiatement la plus haute, le courant s'arrête. Si au contraire la tension est accrue, les autres cathions sont séparés dans l'ordre de leur intensité d'adhésion.

**Densité de courant.** — Sous le nom de densité de courant, on désigne le rapport de l'intensité du courant à la surface des électrodes ou l'intensité de courant par centimètre carré ou, dans les opérations électrométallurgiques, par mètre carré de surface d'électrode. La densité de courant a une grande influence sur le résultat de ces opérations et sur les qualités physiques, du précipité métallique. Comme les métaux sont précipités à la cathode, dans les opérations métallurgiques c'est la surface de la cathode qui doit en première ligne servir de guide pour le choix de la densité de courant convenable. C'est pour cela que dans les opérations en question on désigne aussi ordinairement la densité du courant par le nombre des ampères par mètre carré de surface cathodique. Dans beaucoup de cas, par exemple, lors de l'électrolyse de sels alcalins et alcalino-terreux fondus, il arrive, d'après BORNERS<sup>1</sup>, qu'au-dessous d'une certaine densité de courant à la cathode, il ne se précipite pas de traces de métal, bien que, avec une anode suffisamment petite, on dépasse de beaucoup la tension calculée ou déterminée par expérience. Là, il est nécessaire de déterminer les densités de courant les plus favorables pour *les deux* électrodes, éventuellement aussi pour la section de l'électrolyte. Si les électrolytes sont des solutions aqueuses de corps, on donne, si cela se peut, à la surface anodique une plus grande étendue qu'à la surface cathodique, parce que, en agrandissant la surface de l'anode par rapport à celle de la cathode, on diminue la tension dans le bain jusqu'à une certaine limite. La densité de courant est alors plus petite à l'anode qu'à la cathode. Lors de l'électrolyse de corps fondus, opération dans laquelle le vase où a lieu la fusion forme la cathode, il n'y a pas lieu généralement de tenir compte de cette disposition.

La densité de courant doit pour chaque cas particulier être déterminée par des expériences.

Si la tension nécessaire pour la séparation d'un métal de l'électrolyte est calculée, la densité de courant, à laquelle, en employant une tension ne s'éloignant pas beaucoup de la tension calculée, le métal possède les propriétés désirées, sera la densité exacte. A certaines densités de courant, on obtient des précipités métalliques malléables et compacts, tandis qu'à d'autres densités il se forme des précipités métalliques grossièrement cristallins et peu cohérents ou même pulvérulents et spongieux.

Il se manifeste aux électrodes une *résistance au passage de l'électricité*, lorsqu'il se dépose sur celles-ci des substances qui sont de mauvais conducteurs ou qui forment avec les électrodes une combinaison chimique conduisant mal l'électricité. Par exemple, lors de la dissolution d'anodes contenant du soufre, il peut rester du soufre sur ces dernières, ou bien dans certaines circonstances lors de l'électrolyse d'acide sulfurique il se sépare à l'anode du bioxyde de cuivre, ce qui produit une interruption du courant.

<sup>1</sup> GRAWINKEL et STUECKER, *Hilfsbuch für Elektrotechnik*, 1900, p. 533.

## IV. — PRATIQUE DES OPÉRATIONS ÉLECTROMÉTALLURGIQUES

La manière dont sont effectuées les opérations électrométallurgiques est exposée à propos de l'extraction de chaque métal en particulier dans les traités de métallurgie spéciale<sup>1</sup>.

Le **rendement utile** du courant lors de l'électrolyse dépend de la résistance de l'électrolyte, des résistances au passage de l'électricité, des processus électrothermiques, des variations de concentration, des effets de la polarisation, des modifications chimiques et des modifications de forme des électrodes, de la formation d'ions exerçant une action défavorable sur le processus principal et de la densité du courant. Comme la plupart de ces facteurs sont soumis à des variations incessantes, le calcul théorique de la consommation de force ne donne que des valeurs approximatives. Le calcul de la tension a été expliqué plus haut. La tension aux bornes est, par suite des circonstances indiquées, plus élevée que celle qui est donnée par le calcul. La tension et la densité de courant convenables, ainsi que la distance entre les électrodes la plus convenable, la concentration et la température qu'il convient de donner à l'électrolyte doivent être déterminées par des expériences prolongées, avec un bain d'épreuve de dimensions pas trop faibles.

Afin d'utiliser aussi complètement que possible l'énergie électrique apportée de l'extérieur à l'électrode à laquelle des substances sont apportées en solution sous forme d'ions, il faut, d'après la théorie de l'électrolyse, que la pression osmotique des ions de la substance à dissoudre soit aussi basse que possible. La concentration de la solution de l'électrolyte qui se trouve à ce point doit par suite être très faible. A la cathode au contraire, où sont séparées les substances, la pression osmotique des ions à précipiter doit être haute. L'électrolyte doit donc ici posséder une forte concentration. Mais, dans la pratique, on ne peut remplir ces conditions qu'en compliquant la construction des appareils et rendant le travail plus difficile. C'est pour cela que l'on préfère employer des bains avec une seule chambre, donner à l'électrolyte une concentration aussi faible que possible et le maintenir en un vif mouvement continu, afin d'éviter sa dilution à la cathode et sa concentration à l'anode.

On produit le mouvement de l'électrolyte en le faisant circuler, ainsi qu'en l'agitant au moyen d'air insufflé.

Il est certains cas dans lesquels la *quantité* du sel présent dans le bain exerce une certaine influence sur le résultat de l'opération. Ainsi BUNSEN<sup>2</sup> augmenta peu à peu, l'intensité de courant et la surface polaire restant les mêmes, la teneur en protochlorure de chrome d'une solution et il atteint promptement un point, où avec le protoxyde de chrome il se séparait aussi du chrome et finalement il ne fut plus précipité que du chrome.

Avec une force donnée, on peut obtenir la même quantité de métal aussi

<sup>1</sup> Voy. C. SCHNABEL, *Traité théorique et pratique de métallurgie*, édit. française par L. GAUTIER, t. I. et II. et W. BORCHERS, *Traité d'électrométallurgie*, édit. française par L. GAUTIER ; PARIS, CH. BÉRANGER.

<sup>2</sup> *Poggendorff's Annalen*, t. XCI, 1854, p. 619.

bien à l'aide de machines à haute intensité de courant et basse tension qu'au moyen des machines à faible intensité de courant et haute tension. Par exemple, il est indifférent d'employer une machine avec 30 volts de tension aux bornes et 120 ampères d'intensité de courant ou une machine avec 15 volts de tension aux bornes et 240 ampères d'intensité de courant. Il est seulement nécessaire, dans les deux cas, que la densité de courant soit la même, c'est-à-dire que sur une surface d'électrode déterminée il arrive la même intensité de courant. On travaillait autrefois, dans le raffinage électrolytique du cuivre, avec des densités de courant de 20-30 ampères par mètre carré de surface cathodique, tandis que maintenant on va jusqu'à 200 ampères et au-dessus. La tension dans le bain varie entre 0,2 et 0,4 volt. Les machines à basse tension exigent des conducteurs courts et épais. Dans le travail avec ces machines les perturbations résultant du moindre accroissement de la résistance dans les bains sont beaucoup moins importantes que lorsqu'on emploie de hautes tensions. Dans le tableau de la page 314, sont indiquées les données des nouvelles machines dynamo-électriques construites par la SOCIÉTÉ SIEMENS ET HALSKÉ pour le raffinage électrolytique du cuivre.

Étant données la production et la force nécessaire, celle-ci déterminée par des expériences, on peut, lors d'une installation électrolytique, choisir librement le nombre des bains et leur grandeur et fixer ensuite, d'après cela, la tension aux bornes et l'intensité de courant de la machine, ou choisir librement la tension aux bornes et l'intensité de courant, et déterminer, d'après cela, le nombre et la grandeur des bains. Si, par exemple, de trois machines la première fournit 3 volts et 1 200 ampères = 3 600 V. A., la seconde 15 volts et 240 ampères = 3 600 V. A., la troisième 30 volts et 120 ampères = 3 600 V. A. et si la tension dans le bain s'élève à 0,3 volt, on peut placer les uns derrière les autres (disposer en série) avec la première  $\frac{3}{0,3} = 10$  bains, avec la seconde  $\frac{15}{0,3} = 50$  bains, avec la troisième  $\frac{30}{0,3} = 100$  bains. Chacune des trois installations fournit dans l'unité de temps la même quantité de métal. La surface des électrodes dans chacun des bains est le quotient de la densité de courant par l'intensité de courant totale. On peut calculer la capacité des bains, si l'on connaît la distance entre les électrodes. Celle-ci s'élève, par exemple, dans le raffinage du cuivre, à 5 centimètres.



## CHAPITRE VI

### DISPOSITIFS POUR L'EXTRACTION DES MÉTAUX

Les dispositifs pour l'extraction des métaux comprennent les appareils de séparation proprement dits, les dispositifs nécessaires pour la préparation préliminaire des corps qui doivent être soumis aux procédés de séparation, pour le transport de ces corps sur le lieu où ils doivent être traités; pour l'enlèvement des produits métallurgiques des ateliers de fabrication, pour le façonnage de ces produits, ainsi que pour l'élimination de corps nuisibles ou utiles de certains produits métallurgiques gazeux.

Parmi ces dispositifs, quelques-uns sont en connexion si intime avec les appareils de séparation proprement dits, qu'ils forment un tout avec ceux-ci, comme les dispositifs pour le chargement du lit de fusion et des combustibles, pour l'entraînement des gaz et des vapeurs.

D'autres dispositifs ne forment pas, il est vrai, une partie dépendante des appareils de séparation proprement dits, mais leur fonctionnement est en connexion si intime avec celui des appareils de séparation qu'au point de vue de la pratique ils doivent être considérés comme des accessoires de ces appareils. Tels sont les dispositifs pour l'élimination des corps aussi bien nuisibles qu'utiles des produits métallurgiques gazeux ou vaporeux, les dispositifs pour fournir, réchauffer et conduire l'air nécessaire pour la séparation des métaux des corps métallifères, ainsi que les dispositifs pour le transport de ces derniers corps, des fondants et des combustibles à l'ouverture supérieure des fours (au gueûlard).

Enfin, il y a encore d'autres dispositifs qui ne sont pas en connexion avec les appareils de séparation proprement dits et qui peuvent par suite fonctionner indépendamment de ces derniers. A ce groupe appartiennent les dispositifs de préparation préliminaire, une grande partie des dispositifs de transport et les dispositifs de façonnage.

Nous avons donc à distinguer :

- 1° Les dispositifs de séparation avec leurs accessoires.
- 2° Les dispositifs fonctionnant indépendamment des dispositifs de séparation.

#### I. — DISPOSITIFS DE SÉPARATION ET LEURS ACCESSOIRES

On distingue les dispositifs pour les procédés de séparation par voie sèche, par voie humide et par voie électrométallurgique.

## 1. Dispositifs de séparation pour la voie sèche.

Les fours sont les dispositifs de séparation proprement dits pour la voie sèche. Les dispositifs dépendant des fours, c'est-à-dire fonctionnant en même temps que ces derniers, sont les dispositifs de chargement, les prises de gaz, les dispositifs pour recueillir les poussières, les gaz et les vapeurs des fumées d'usines, les dispositifs pour recueillir, réchauffer et conduire l'air nécessaire pour la séparation du métal des corps métallifères, ainsi que les dispositifs pour transporter les minerais, les produits métallurgiques, les fondants et les combustibles au gueulard des fours à cuve (monte-charges).

### A. — Fours.

Les fours sont des dispositifs dans lesquels sont chauffés les minerais, les produits métallurgiques, les combustibles et les corps destinés à produire ou à favoriser la séparation des métaux. Comme on l'a déjà exposé, la chaleur est produite par la combustion des combustibles, ou par l'oxydation de certains éléments des corps à chauffer ou par le courant électrique.

On désigne sous le nom de *rendement calorifique d'un four*<sup>1</sup> le rapport entre la chaleur qui y est utilisée et le pouvoir calorifique du combustible qui y est brûlé. D'après cela, le rendement calorifique d'un four est égal à la chaleur qui y est utilisée, divisée par l'effet calorifique absolu de la quantité de combustible consommée. Si l'on désigne par W la quantité de chaleur utilisée, par B le pouvoir calorifique de 1 kilogramme de combustible, par Q la quantité en poids de combustible consommé, le rendement calorifique du four est égal à :

$$\frac{W}{B Q.}$$

La quantité de chaleur utilisée se compose de la chaleur absorbée par les produits solides, liquides et gazeux de l'opération métallurgique considérée et de la chaleur consommée pour la décomposition des combinaisons chimiques. La quantité de chaleur qui a pris naissance lors de la formation de combinaisons chimiques (oxydation) doit être ajoutée à l'effet calorifique absolu du combustible consommé.

La détermination du rendement calorifique des fours peut, avoir de l'importance, lorsque différentes sortes de fours peuvent être employées pour le même procédé.

### MATÉRIAUX EMPLOYÉS POUR LA CONSTRUCTION DES FOURS

A l'exception des cas dans lesquels les fours sont formés par simple accumulation des corps à chauffer sur une couche de combustible (tas) et

<sup>1</sup> LEDEBUR, *Die Oefen für metallurgische Prozesse.*

n'existent que tant que dure le chauffage, les parties des fours exposées à la chaleur doivent être faites d'une substance qui puisse résister aussi bien à la chaleur seule qu'à l'action chimique des corps chauds avec lesquels elle se trouve en contact. La chaleur seule détruit plus ou moins la cohésion des substances non résistantes, sans modifier leur état d'aggrégation, ces matières se crevassant, s'écaillant, s'effritant ou se réduisant en poussière, ou bien elle les *fond*.

De pareilles substances sont décomposées ou dissoutes par les influences chimiques.

Comme les températures et les effets chimiques qu'exigent les différents procédés de séparation sont extrêmement variés, la résistance d'une substance ne peut jamais se rapporter qu'à des températures et à des influences chimiques déterminées. Ainsi, par exemple, une substance qui, dans certains procédés de calcination résiste à la chaleur, est fondue par celle-ci dans un grand nombre de procédés de fusion. Dans les fusions, les substances riches en acide silicique sont dissoutes par les charges basiques et les substances riches en bases le sont par les charges riches en acide silicique.

Mais la résistance des substances en question pour des températures et des influences chimiques déterminées n'est que limitée. Elles finissent avec le temps par être détruites par voie mécanique ou chimique.

On appelle **matières réfractaires** les substances qui, dans un cas donné, peuvent résister aussi longtemps que possible à la chaleur ou aux variations de températures et aux influences chimiques. Ces substances forment la sole et les parois intérieures des fours ; ces dernières sont maintenues par des parois extérieures en maçonnerie (dites muraillement) ou au moyen d'enveloppes, d'anneaux ou de plaques en fer.

Dans nombre de cas, des parois métalliques refroidies limitent seules latéralement la capacité du four.

Les matières qui servent pour entourer les parois internes des fours ne diffèrent pas des matériaux de construction ordinaires ; nous n'avons donc pas à nous en occuper ici, mais les matières réfractaires doivent être l'objet d'un examen particulier.

#### **Matières réfractaires.**

Pour presque tous les cas, il est de règle que les **matières réfractaires** ne doivent pas être attaquées par les corps chauffés dans les fours. Dans quelques procédés de fusion seulement, une partie de ces matières doit contribuer à la scorification de certains corps (oxydes du fer, acide phosphorique). Ainsi, on scorifie les oxydes du fer par l'acide silicique du revêtement du four dans la préparation du fer fondu d'après le procédé Bessemer, dans l'affinage et le raffinage du cuivre, dans l'extraction du cuivre d'après le procédé au convertisseur ; on scorifie l'acide phosphorique par une partie de la chaux et de la magnésie du revêtement du four dans la préparation du fer fondu d'après le procédé Thomas. Dans les fours électriques, la production de la chaleur a lieu à l'intérieur des masses à chauffer. Les matières réfractaires sont formées dans ce cas de

la substance qui compose l'électrolyte ou certaines parties de la charge du four.

Les corps qui constituent les éléments essentiels des matières réfractaires sont l'acide silicique, l'alumine, la chaux, la magnésie, les oxydes du fer, des silicates, le carbone et des métaux.

L'**acide silicique** libre résiste aux très hautes températures. Il fond dans le chalumeau à gaz oxy-hydrogène. La chaleur le dilate d'une façon permanente et il décrépite facilement. Lorsqu'il est mis en contact avec certaines bases à de hautes températures, il se combine avec elles en formant des silicates fusibles (alcalis, oxyde de plomb). Avec une seule des bases difficilement fusibles (sesquioxyde de fer, chaux, magnésie), il ne fond qu'à de hautes températures, tandis qu'avec plusieurs bases difficilement fusibles il forme des combinaisons parfaitement fusibles (voy. *Scories*, p. 63). Comme on l'a déjà dit à propos de la formation des scories, les silicates tout formés sont plus facilement fusibles que ceux qui ne se forment qu'aux dépens de mélanges.

L'**alumine** est encore beaucoup plus difficilement fusible que l'acide silicique. Mais elle peut être fondue à l'aide du courant électrique. Ses combinaisons avec l'acide silicique sont seules très difficilement fusibles. Plus est grande la teneur en alumine de la combinaison, plus celle-ci fond difficilement. Mais les silicates d'alumine forment avec d'autres bases des silicates doubles facilement fusibles.

La **chaux** et la **magnésie** sont presque infusibles. Mais elles forment avec l'acide silicique, en présence d'autres bases, des silicates doubles fusibles.

Parmi les oxydes du fer, il y a lieu de considérer le **sesquioxyde de fer** et l'**oxyde salin de fer**.

Ces corps ne se ramollissent qu'à de hautes températures. Mais ils sont dissous par les silicates riches en acide silicique — l'oxydure de fer même par l'acide silicique seul — avec formation de combinaisons fusibles. Ils sont employés comme revêtement réfractaire dans les cas où d'autres matières réfractaires ne résistent pas à l'action de scories ferrugineuses.

Parmi les *silicates*, les **silicates d'alumine** forment généralement les éléments de matières réfractaires. Les silicates de magnésie ne trouvent que rarement emploi. Les silicates d'alumine sont, comme on l'a déjà dit, très difficilement fusibles. Cependant, ils se combinent avec les alcalis, les terres alcalines et les monoxydes des métaux lourds, ainsi qu'avec d'autres silicates, en formant des silicates doubles fusibles.

Le **carbone** est infusible, mais il est gazéifié à chaud par l'oxygène ou les corps cédant de l'oxygène.

Parmi les **métaux**, c'est surtout le fer qui est employé comme matière réfractaire. Dans beaucoup de cas, on se sert aussi de cuivre et d'alliages (bronze). Ces corps résistent aux hautes températures, lorsqu'ils sont refroidis par de l'eau.

Parmi les corps mentionnés, on n'emploie à l'état pur comme matières réfractaires que les métaux, les alliages et les oxydes du fer. Les autres corps contiennent des quantités d'impuretés plus ou moins grandes; quelques-uns sont mélangés intentionnellement avec d'autres corps, afin d'augmenter leur résistance au feu.

On emploie les matières réfractaires, à l'exception des métaux ou des alliages, sous forme de pierres ou de briques ou de masses poreuses, et on les utilise — après leur avoir donné la forme convenable — telles qu'elles se rencontrent dans la nature, ou bien on les prépare artificiellement par mélange de différents éléments. D'après leurs éléments essentiels, on peut les distinguer en : 1° matières réfractaires avec acide silicique comme élément essentiel ; 2° matières réfractaires avec alumine comme élément essentiel ; 3° matières réfractaires avec chaux ou magnésie comme élément essentiel ; 4° matières réfractaires avec oxydes du fer comme éléments essentiels ; 5° matières réfractaires avec silicates comme éléments essentiels ; 6° matières réfractaires avec carbone comme élément essentiel ; et 7° matières réfractaires consistant en métaux ou alliages.

Les différentes matières de cette espèce sont à leur tour distinguées d'après la forme sous laquelle elles sont employées et d'après leur mode de préparation.

#### 1. — Matières réfractaires avec acide silicique comme élément essentiel.

Ces matières trouvent emploi sous forme de pierres ou de briques ou de masses non cohérentes.

Les pierres sont préparées par taillage de roches naturelles riches en acide silicique ou artificiellement avec du quartz et des agents agglutinants (pierres artificielles ou briques).

Le quartz que l'on rencontre dans la nature ne peut pas être employé directement pour la confection de pierres, parce qu'il est difficile à tailler et qu'il se fissure sous l'action de la chaleur. C'est pour cela qu'on le pulvérise et qu'on s'en sert dans cet état pour préparer des pierres artificielles ou des masses non cohérentes.

Les roches qui contiennent du quartz comme élément sont au contraire employées fréquemment comme pierres réfractaires. A cette catégorie appartiennent les *grès*, qui se composent de grains de quartz reliés par un ciment siliceux ou argileux (avec 92-95 p. 100 d'acide silicique), et le *poudingue*, qui est formé de fragments de quartz arrondis de la grosseur d'une noix et de la grosseur du poing, reliés par un ciment siliceux et se rencontre en Angleterre et en Belgique.

Le granit, le gneiss et le schiste micacé, qui représentent des mélanges de quartz, de feldspath et de mica avec 81 p. 100 environ d'acide silicique, ont également trouvé emploi comme pierres réfractaires ; mais comme ils renferment des silicates avec plusieurs bases ils ne sont pas aussi réfractaires que les roches mentionnées en premier lieu. Le porphyre quartzifère, qui se compose de quartz, d'orthoclase et d'une pâte pétrosiliceuse, contient 74 p. 100 d'acide silicique.

Les pierres naturelles doivent, avant leur emploi, être suffisamment desséchées. Si ce sont des roches stratifiées, il faut, pour empêcher leur exfoliation, les placer dans le four de façon que leurs faces de stratification forment un angle droit avec les surfaces du four exposées à la chaleur.

Les pierres de quartz artificielles ou briques de quartz sont préparées

avec du quartz pulvérisé et de petites quantités d'un agent agglutinant (chaux, sirop, empois). Comme le quartz a la propriété de se dilater au feu, il est fréquemment calciné avant sa pulvérisation. Les briques de quartz les plus connues par leur résistance aux hautes températures sont les briques de Dina, qui sont fabriquées avec du quartz des rochers de Dina, près Neath, en Angleterre. Le quartz est moulu, trituré avec de l'eau et 1 p. 100 de chaux vive, puis moulé et finalement cuit.

Les masses non cohérentes sont employées soit sous forme de sable naturel, soit sous forme de quartz pulvérisé ou de roches quartzifères pulvérisées (grès, ganister).

### 2. — Matières réfractaires avec alumine comme élément essentiel.

Ces matières, à cause de leur rareté ne sont qu'exceptionnellement employées. La seule matière de ce genre qui se rencontre à l'état naturel est la *bauxite*, un hydrate d'alumine et de sesquioxyde de fer, que l'on a trouvé pour la première fois à Baux, dans les environs d'Arles (Bouches-du-Rhône). La bauxite contient 50-78 p. 100 d'alumine, 1-35 p. 100 d'oxyde de fer, jusqu'à 25 p. 100 d'acide silicique et 12-15 p. 100 d'eau. Elle n'est que rarement employée comme revêtement de fours pour charges basiques. Dans ce but, elle est d'abord calcinée (afin d'expulser l'eau), elle est ensuite pulvérisée, puis moulée en briques à l'aide d'agents agglutinants (chaux ou chlorure de calcium) et ensuite de nouveau calcinée. On peut aussi préparer des briques réfractaires avec des mélanges de bauxite et d'argile.

### 3. — Matières réfractaires avec chaux ou magnésie comme éléments essentiels.

On se sert de ces matières sous la forme de briques ou de masses non cohérentes.

Les briques ne sont préparées qu'artificiellement et elles se composent de magnésie ou de mélanges de chaux et de magnésic. On les emploie lorsqu'il doit être produit des scories basiques à de hautes températures (fabrication du fer fondu d'après le procédé Thomas et d'après le procédé Martin basique, raffinage du plomb). Pour la préparation de ces briques, on se sert de la dolomie et de la magnésite calcinées.

La dolomie calcinée est mélangée avec 8-11 p. 100 de goudron chaud. Le mélange est moulé en briques sous une pression de 200-300 kilogrammes par centimètre carré et les briques sont ensuite placées dans les fours. Avec le mélange, on prépare aussi des pièces moulées par foulage à l'aide de pilons chauffés au rouge dans des moules particuliers. Ces derniers avec leur contenu sont chauffés au rouge faible, afin de carboniser le goudron et d'en volatiliser l'excès.

On prépare avec la magnésite des creusets de magnésic, sans addition de goudron. A Veitsch, en Styrie (usines de la Société Spaeter, de Coblenz), la magnésite est d'abord calcinée en morceaux à une haute température dans des fours avec garnissage en briques de magnésic. La

magnésite calcinée est pulvérisée et ensuite moulée en briques sous une pression de 300 kilogrammes par centimètre carré ; ces briques sont des-séchées et ensuite cuites dans des chambres avec garnissage en briques de magnésie.

Abstraction faite des cas mentionnés, on emploie aussi les briques de magnésie pour le garnissage des fours qui exigent un revêtement basique.

Parmi les *masses poreuses* ou *dépourvues de cohésion*, on emploie la chaux vive pour la confection d'appareils pour la fusion du platine ; la marne, la cendre de bois et la cendre d'os comme sole pour la séparation du plomb d'avec l'argent et l'or par coupellation, ainsi que pour le raffinage de l'argent. Aux États-Unis de l'Amérique du Nord, on se sert fréquemment pour la préparation des soles de coupellation de ciment de Portland ou d'un mélange de ciment de Portland et de poudre de briques réfractaires.

La *marne* est un mélange de carbonate de calcium et d'argile. Elle se trouve toute formée dans la nature dans un grand nombre de localités ; mais elle est généralement préparée artificiellement par mélange de calcaire et d'argile pulvérisés. A la marne naturelle pauvre en chaux, on ajoute aussi du calcaire dans la proportion nécessaire, de même qu'à la marne pauvre en argile, on ajoute de l'argile également dans la proportion nécessaire. De bonnes sortes de marnes contiennent :

Carbonate de calcium . . . . .	65-66	p. 100
Alumine. . . . .	5-7	—
Acide silicique . . . . .	21-24	—
Sesquioxyde de fer . . . . .	3-5	—
Carbonate de magnésium . . . . .	1-2	—

Si la marne contient trop d'argile, elle se fissure facilement ; si elle contient trop de carbonate de calcium, la sole est trop poreuse et la chaleur y produit de grosses boursouffures. La marne ou les éléments qui doivent la former sont bocardés, tamisés, légèrement humectés et ensuite mélangés.

La *cendre de bois* lessivée et la *cendre d'os*, qui renferment également de la chaux comme élément essentiel, étaient employées, avant l'introduction de la marne, pour la préparation des soles de coupellation. Actuellement, on ne se sert plus que rarement de la cendre d'os pour la confection de petites soles de coupellation, dites coupelles anglaises, et de soles pour le raffinage de l'argent. Pour préparer la cendre d'os, on calcine d'abord les os, puis on les bocarde et on soumet la poudre à la lévigation.

#### 4. — Matières réfractaires avec oxydes du fer comme éléments essentiels.

On emploie comme matières réfractaires de cette espèce le *fer oligiste* (hématite rouge) en morceaux ou en poudre, en outre les résidus du grillage des pyrites (*cendres de pyrites*, sesquioxyde de fer), les *battitures de fer* (oxyde salin de fer), les scories avec une teneur élevée en oxyde salin

de fer (*scories d'affinage*). On se sert de ces matières pour le garnissage des fours dans la préparation du fer soudé (fours à puddler).

### 5. — Matières réfractaires avec silicates comme éléments essentiels.

L'argile et quelques silicates de magnésie appartiennent à cette catégorie de matières réfractaires.

L'argile est la plus importante de toutes les matières réfractaires, c'est un silicate double d'aluminium, formé de silicate d'aluminium hydraté, avec des silicates des métaux, des terres alcalines, des alcalis et du fer. Elle renferme toujours en mélange du sable quartzeux. En grande moyenne, l'argile réfractaire contient, y compris l'acide silicique qui y est mélangé (sable quartzeux), 45-65 p. 100 d'acide silicique, 25-35 p. 100 d'alumine, 10-15 p. 100 d'eau. Elle est d'autant plus réfractaire que sa teneur en alumine est plus élevée. Sa résistance au feu est fâcheusement influencée par les alcalis, le sesquioxyde de fer, la chaux et la magnésie, parce que ces corps forment avec le silicate d'aluminium des silicates doubles fusibles. Lorsque l'argile renferme 10 p. 100 des corps en question, elle ne peut servir comme argile réfractaire.

Dans les tableaux suivants est indiqué la composition de différentes sortes d'argiles, qui peuvent être considérées comme argiles normales<sup>1</sup> :

ÉLÉMENTS	1 <sup>re</sup> CLASSE Argile schisteuse de Altwasser.	2 <sup>e</sup> CLASSE Kaolin lèvigé de Zettlitz en Bohême.	3 <sup>e</sup> CLASSE Argile de Briesen en Moravie.	4 <sup>e</sup> CLASSE Excellente argile belge de Stroud Maisroul, près Andenne.
Alumine . . . . .	36,30	38,54	39,25	34,78
Acide silicique :				
Combiné chimiquement . . . . .	38,94)	40,53)	44,76	39,69)
Sous forme de sable . . . . .	4,90)	5,15)		9,95)
Magnésie . . . . .	0,19	0,38	0,36	0,41
Chaux . . . . .	0,19	0,08	0,26	0,68
Sesquioxyde de fer . . . . .	0,46	0,90	0,48	1,80
Potasse . . . . .	0,42	0,66	1,55	0,41
Perte au feu . . . . .	17,78	13,00	13,41	12,00
	99,10	99,24	100,07	99,72
Degré de la résistance au feu. {	100 (Eatr. réfract.)	70 (Très réfract.)	60 (Très réfr.)	50 (Très réfract.)

<sup>1</sup> Dr C. BISCHOF, *Die feuerfesten Tone*, Leipzig 1895.



ÉLÉMENTS	5 <sup>e</sup> CLASSE Argile de Grüns- tadt, dans le Palatinat.	6 <sup>e</sup> CLASSE Argile d'Oberkau- fungen, près Cassel.	7 <sup>e</sup> CLASSE Argile de Tschirnc, en Silésie.
Alumine. . . . .	35,05	27,97	26,27
Acide silicique :			
Combiné chimiquement . . . . .	39,32	33,59	61,35
Sous forme de sable . . . . .	8,01	24,40	
Magnésie . . . . .	1,11	0,54	0,52
Chaux. . . . .	0,16	0,97	0,10
Sesquioxyde de fer. . . . .	2,30	2,01	1,12
Potasse . . . . .	3,18	0,53	3,15
Perte au feu . . . . .	10,51	9,43	7,53
	99,64	99,44	100,04
Degré de la résistance au feu. . . . .	30 (Modérément ré- fractaire.)	20 (Assez réfractaire.)	10 (Peu, mais en- core réfract.)

L'argile d'Altwasser, qui est le type de la classe I, est une argile pure et extraordinairement réfractaire, tandis que celle de Tschirnc, en Silésie, le type de la classe VII, est à peine réfractaire.

Humectée avec de l'eau, l'argile a la propriété de former une masse plastique. Mais, par la dessiccation et la calcination, elle perd cette propriété. Elle perd en même temps toute son eau, diminue de volume, se fissure et devient dure. La diminution de volume de l'argile sous l'influence de la chaleur est désignée sous le nom de *retrait*. L'argile *pure* a la propriété, lorsqu'on l'humecte avec de l'eau, de devenir plastique et de se rétracter par l'action de la chaleur beaucoup plus fortement que l'argile sableuse. On nomme argile *grasse* l'argile pauvre en quartz ou en sable, et argile *maigre* l'argile riche en ces corps.

On emploie l'argile aussi bien sous forme de briques qu'à l'état de masses non cohérentes.

Les *briques d'argile* sont toujours préparées artificiellement, parce que l'argile, à cause de sa propriété de se rétracter et de se fissurer au feu, ne peut être transformée directement en briques. Il faut, à cause de cela, la mélanger avec des corps réfractaires qui ne se rétractent pas ou se dilatent légèrement sous l'influence de la chaleur, puis la mouler et ensuite la cuire. On nomme *briques réfractaires* les briques d'argile ainsi préparées.

On nomme *amaigrissants* les corps que, pour la raison indiquée, on ajoute à l'argile et on emploie comme tels l'argile *cuite*, le quartz et des corps contenant du carbone. Le corps amaigrissant le plus fréquemment employé est l'argile cuite, qui porte également le nom de ciment. Ce dernier est préparé par cuisson d'argile et broyage subséquent de l'argile cuite ou bien il est obtenu par broyage de briques réfractaires ayant déjà servi, ou de déchets de celles-ci. Plus les grains de l'argile cuite sont gros, mieux les briques supportent les variations de température. Les briques

renferment jusqu'à deux tiers de ciment. Avec les meilleures sortes d'argile, on préfère l'argile cuite au quartz comme substance amaigrissante, tandis qu'on augmente la résistance au feu des mauvaises sortes d'argile, en y ajoutant du quartz ou du sable.

La préparation préliminaire que l'on fait subir au quartz consiste à le chauffer, puis à l'étonner dans l'eau et à le pulvériser.

Parmi les corps renfermant du carbone (graphite, coke, charbon de bois), on emploie comme substance amaigrissante le graphite, qui cepen-

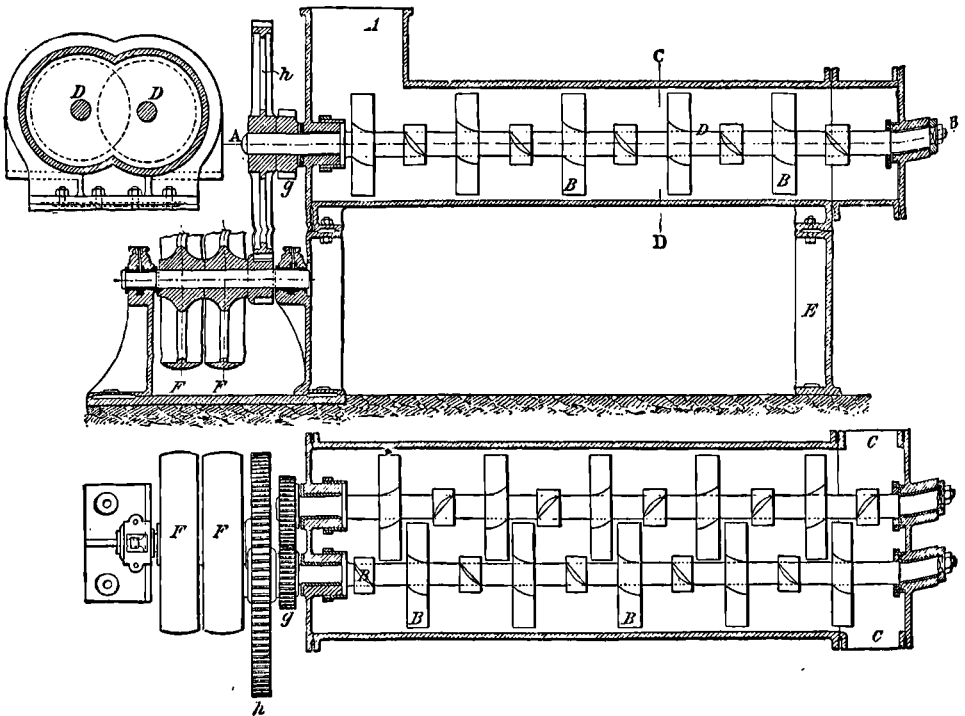


Fig. 176 à 178. — Malaxeuse horizontale.

dant ne sert que dans la fabrication des creusets. Avant de s'en servir, il faut le débarrasser autant que possible des substances qui forment avec l'argile des combinaisons fusibles (alcalis, terres, oxydes métalliques).

Dans un grand nombre de localités, avant d'employer l'argile, on l'expose à l'action de la gelée et, par suite de la formation de glace dans la masse et de la destruction de la cohésion de celle-ci, le travail mécanique de l'argile est alors rendu plus facile. Un grand nombre d'argiles schisteuses sont aussi exposées pendant un long temps à l'action des agents atmosphériques. L'argile est ainsi débarrassée de la pyrite qui s'y trouve mélangée, cette dernière étant transformée en sulfates du fer, qui sont dissous et entraînés par l'eau. Le carbonate de calcium que renferme également l'argile est transformé par les sulfates du fer en sulfate de calcium, qui est aussi entraîné par les pluies. De même, les combinaisons insolu-

bles des alcalis sont converties en sels solubles. Après son exposition à la gelée, l'argile est souvent soumise à la lévigation.

La fabrication des briques réfractaires comprend la pulvérisation et le tamisage de l'argile préparée, le mélange de celle-ci avec les substances amaigrissantes, le moulage du mélange rendu bien homogène, sa compression, sa dessiccation et sa cuisson.

La *pulvérisation* est effectuée au moyen de broyeurs, de moulins à

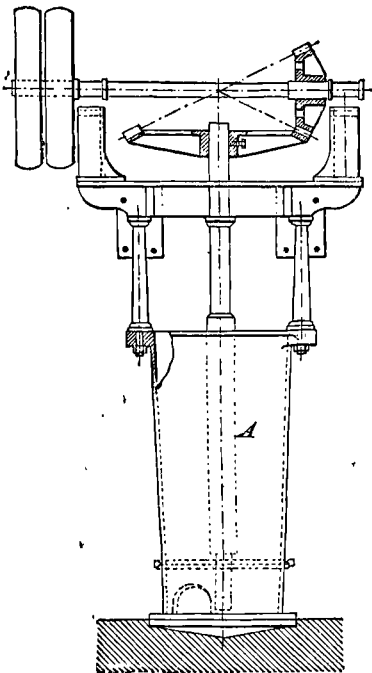


Fig. 179. — Malaxeuse verticale; vue extérieure.

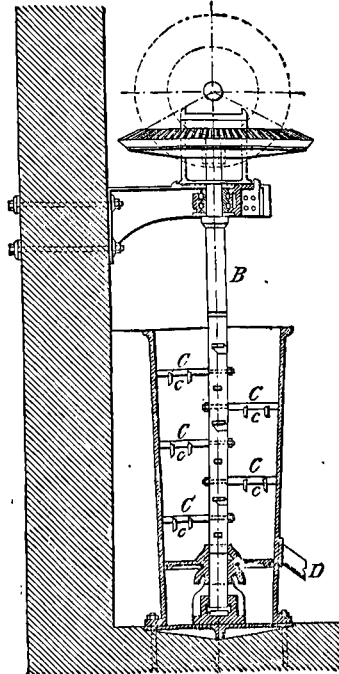


Fig. 180. — Malaxeuse verticale; coupe verticale.

cylindres, de bocards, de moulins à boulets, de moulins centrifuges et de meules verticales, et le *tamisage* à l'aide de tamis à main, de tamis cylindriques, de tamis à secousses, de cribles, etc.

Le *mélange des matières* et l'addition de l'eau à celles-ci ont lieu par pelletage, pétrissage, battage à la main, par marchage ou à l'aide de machines.

Les machines, les malaxeuses ou découpoirs à argile, ne produisent pas seulement le mélange des matières, elles rendent aussi ce dernier homogène.

La malaxeuse se compose d'un vase en fer pour recevoir les substances à mélanger et d'un arbre vertical ou horizontal, armé de couteaux pour mélanger les matières. L'arbre fait 4-5 rotations par minute. Les couteaux sont placés obliquement. L'eau pour humecter la masse est ajoutée en une seule fois ou bien elle coule de façon continue.

Les malaxeuses horizontales exigent plus de dépense de force et plus d'espace que les appareils verticaux, mais le mélange des matières y est plus parfait. Elles sont munies fréquemment de deux arbres avec couteaux.

Une malaxeuse horizontale est représentée par la figure 176 en coupe longitudinale, par la figure 177 en coupe horizontale et par la figure 178 en coupe transversale, suivant la ligne CD de la figure 176<sup>1</sup>. Les matières à mélanger sont introduites en A et elles sont malaxées par les ailettes B, B, se mouvant en sens inverse. Le mélange sort en C.

Les figures 179 à 182 représentent une malaxeuse verticale<sup>2</sup>. A est le vase destiné à recevoir les matières à mélanger, qui y sont introduites par sa partie supérieure. Sur l'arbre vertical rotatif B, sont adaptés des bras C,

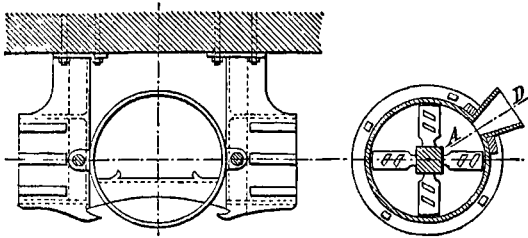


Fig. 181 et 182. — Malaxeuse verticale; coupes horizontales.

sur lesquels sont fixés des couteaux *c*. Le mélange est malaxé par ces derniers et ensuite refoulé du vase par l'ouverture D.

A cause du travail plus exact, le *moulage* est généralement fait à la main. Les ouvriers préparent sur une table des balles d'argile de la grosseur de la brique à mouler, ils les roulent dans de la poudre de ciment sèche ou dans du sable à mouler et ils en remplissent ensuite le moule en bois, en tôle ou en fonte, qui intérieurement a été également saupoudré de ciment ou de sable à mouler. Lorsque la masse a été bien tassée dans le moule, on coupe net ce qui dépasse le bord du moule à l'aide d'un fil métallique ou d'un couteau et l'on retire ensuite la brique du moule. Celle-ci est transportée, avec une série de briques semblables, dans le séchoir, où on la laisse sécher à la température ordinaire. Pour le moulage des très grandes briques, on pilonne successivement plusieurs balles d'argile dans les moules, souvent formés de plusieurs pièces.

Le moulage est également effectué à l'aide de machines, au moyen desquelles le mélange sortant de la malaxeuse est refoulé dans une embouchure, d'où il sort sous la forme d'un ruban, qu'à l'aide de fils métalliques on découpe en morceaux de même longueur. Les briques ainsi préparées, encore assez molles, sont comprimées au moyen de presses à main ou à vapeur, afin de leur donner un format uniforme et de les rendre plus compactes. On emploie aussi des presses pour préparer des briques avec une grande résistance à la pression, une grande conductibilité calorifique et

<sup>1</sup> BISCHOF, *Die feuerfesten Tone*, p. 224.

<sup>2</sup> BISCHOF, *loc. cit.*, p. 224.

une grande compacité. Les appareils usités pour cela sont des presses à levier mues à l'aide de la main, des presses à vapeur ou des presses hydrauliques.

Si la matière doit être comprimée à l'état sec, on emploie des presses sèches. Celles-ci sont usitées surtout en Angleterre (pour la compression de l'argile schisteuse) et dans le Nord de l'Amérique.

La *dessiccation* est d'abord effectuée dans des séchoirs à la température ordinaire et ensuite dans des locaux chauffés ou bien immédiatement dans des dispositifs de séchage artificiel. Le séchage artificiel est produit par chauffage direct des briques dans une étuve, ou par introduction des flammes perdues des fours à cuire ou de la vapeur d'échappement des machines dans des tubes traversant les étuves, ou bien par introduction de gaz de foyers dans des canaux en briques réfractaires ou des canaux recouverts de plaques de fer formant la sole de l'étuve.

La *cuisson* des briques a ordinairement lieu dans des enceintes prismatiques voûtées, à une température élevée peu à peu jusqu'au rouge.

Indépendamment des briques, on prépare avec l'argile réfractaire des moufles pour l'extraction du zinc, des tuyères pour convertisseurs Bessemer, des bouchons et des bobécons pour poches de coulée, etc.

On prépare ces objets soit en tassant le mélange des matériaux dans des moules en fer, soit au moyen de presses. Les grands moufles sont aussi fabriqués à la main dans des moules en bois. (Voy. pour la description détaillée du traitement de l'argile et de la fabrication des briques réfractaires : Biscnor, *Die feuerfesten Tone*, Leipzig, 1895.)

On emploie l'argile sous la forme de *masses non cohérentes* aussi bien à l'état naturel qu'après l'avoir mélangée avec du ciment, du quartz, des silicates de magnésie et du charbon.

On se sert d'argile naturelle pour la confection de la sole de certains fours, pour l'extraction du plomb de la galène.

Le mélange d'argile avec du ciment et du quartz (fréquemment aussi avec de la serpentine, du menu de coke, du graphite), qui est désigné en Allemagne sous le nom de *masse*, est employé, après avoir été humecté avec de l'eau, pour la confection de parties de fours qui doivent être réfractaires, et à cet effet on donne au mélange plastique la forme nécessaire à l'aide de modèles ou en le damant dans le four même et on le soumet ensuite à la cuisson. (Confection des parois des fours à cuve.)

On s'est servi pour la préparation de la sole de fours à raffiner le cuivre d'argile mélangée avec des roches magnésiennes (schiste talqueux). On a aussi employé comme revêtement des fours des mélanges d'amiante et d'argile réfractaire.

On nomme **brasque** les mélanges d'argile ou de limon avec de la poudre de coke ou de la poudre de charbon de bois. On s'en sert pour le revêtement de la partie inférieure des fours de fusion, pour préparer des voies d'écoulement et des cavités collectrices pour les masses fondues. La brasque protège la maçonnerie du four ; conduisant mal la chaleur, elle retient celle-ci ; elle permet d'éliminer commodément des fours les masses fondues ; par le carbone qu'elle renferme, elle exerce une action réductrice et elle n'est pas attaquée par les sulfures métalliques.

On distingue la *brasque légère*, la *brasque moyenne* et la *brasque*

*lourde*. La brasque moyenne se compose ordinairement de volumes égaux de charbon et d'argile (de limon ou de poudre d'argile schisteuse); la brasque lourde contient plus d'argile, la brasque légère plus de charbon. La poudre de coke donne à la brasque plus de consistance que la poudre de charbon de bois.

Les *matières réfractaires avec silicates de magnésie* comme éléments essentiels sont le talc schisteux, la chlorite schisteuse, la serpentine et la stéatite. Ces roches renferment jusqu'à 64 p. 100 d'acide silicique et jusqu'à 43 p. 100 de magnésic.

On n'emploie ces corps que rarement et alors sous forme de pierres taillées (comme revêtement pour les hauts fourneaux et les fours à cuivre). Comme masses non cohérentes, ils ne sont employés qu'exceptionnellement en mélange avec de l'argile ou du schiste argileux.

#### 6. — Matières réfractaires avec carbone comme élément essentiel.

Le charbon a été déjà mentionné précédemment comme amaigrissant pour l'argile (*graphite*) et comme élément des brasques (*poudre de charbon de bois, poudre de coke*).

On a en outre employé la menu de coke gâché avec de l'eau d'erbué pour préparer des briques, dites **briques de coke**. On se sert aussi de ces briques pour le revêtement de l'ouvrage des hauts fourneaux à fer, ainsi que des fours à plomb.

#### *Mortier pour les briques réfractaires.*

Si l'on ne peut pas aplanir exactement les briques sur les faces par lesquelles elles reposent les unes sur les autres et par lesquelles elles se touchent, il faut, lors de leur emploi pour la confection d'une maçonnerie garnir les joints avec un mortier. Pour les hautes températures, on emploie dans ce but le limon et l'argile; pour les basses températures, on prépare un mortier d'argile ou un mortier avec les matières qui composent les briques. On plonge les briques dans ces mortiers et on les met ensuite à leur place dans le four. Le mortier réfractaire ne doit pas se rétracter au feu et à cet effet il est additionné de quantités relativement grandes de l'agent amaigrissant (quartz en poudre fine ou ciment).

#### 7. — Matières réfractaires consistant en métaux ou alliages.

Depuis quelque temps, la capacité des fours est limitée immédiatement par des parois métalliques creuses. Ces parois nécessitent un refroidissement intense au moyen d'eau dans les espaces vides qu'elles laissent. Sur le côté interne des parois, il se forme une croûte mince de masses solidifiées, qui préservent les métaux de l'action de la chaleur aussi bien que des corps chauffés qui se trouvent dans le four.

Comme métaux, on emploie le fer, plus rarement le cuivre, et comme alliages le bronze (pour les tuyères).

### DISPOSITION GÉNÉRALE DES FOURS

Abstraction faite des fours-tas, tout four se compose en général de deux parties, la partie intérieure, qui limite la capacité du four, et la

partie extérieure, qui contient la partie intérieure et qui dans beaucoup de cas doit aussi empêcher les pertes de chaleur. La partie *intérieure* se compose des matériaux réfractaires dont il a été question précédemment et qui dans la plupart des cas forment une maçonnerie. Si elle est constituée par des parois métalliques refroidies, la partie extérieure du four fait défaut.

La partie *extérieure* se compose d'une maçonnerie, s'il s'agit à la fois de contenir la partie intérieure et d'éviter les pertes de chaleur ; lorsqu'elle ne doit que consolider le four, elle consiste en une chemise en fonte ou en fer doux ou bien elle est formée d'anneaux, de plaques ou de tiges de fer (dites pièces de l'armature).

Dans le cas de la présence d'une maçonnerie, la partie extérieure, qui à son tour est maintenue par des pièces de fer, est désignée sous le nom de muraillement et la partie interne sous celui de chemise intérieure.

La partie extérieure du four dépend essentiellement, quant à sa disposition et à sa forme, de la partie intérieure.

La disposition et la forme de la partie intérieure dépendent du mode de chauffage des corps dans le four et de la nature particulière de l'opération qui devra y être effectuée.

#### *Classification des fours.*

Suivant le mode de production de la chaleur dans les fours, on distingue :

I. Les fours dans lesquels la chaleur est produite par combustion de combustibles. (Dans quelques cas, les combustibles sont contenus dans le corps à chauffer.)

II. Les fours dans lesquels la chaleur est produite à l'aide du courant électrique.

#### I. — FOURS DANS LESQUELS LA CHALEUR EST PRODUITE PAR COMBUSTION DE COMBUSTIBLES

Suivant le mode de chauffage dans ces fours, on peut distinguer quatre espèces principales de ces dispositifs :

1<sup>o</sup> Fours dans lesquels le chauffage a lieu par le contact immédiat des corps à chauffer avec des combustibles solides ou liquides (ou avec les produits de la combustion). Dans ces fours, les combustibles et les corps à chauffer se trouvent dans la même capacité, qui constitue le four lui-même.

2<sup>o</sup> Fours dans lesquels le chauffage a lieu par la flamme de combustibles (solides, liquides ou gazeux), et cela aussi bien par le contact de la flamme et des produits gazeiformes de la combustion avec les corps à chauffer, que par la radiation calorifique de la flamme et des parois chaudes du four. On nomme ces fours **fours à flamme**.

3<sup>o</sup> Fours dans lesquels le chauffage a lieu uniquement par les parois du four portées au rouge. Le combustible étranger y a été brûlé avant l'introduction du corps à chauffer et la chaleur développée a été absorbée par les parois du four. On donne à ces fours, qui de même que les fours

mentionnés en premier lieu n'ont pas de foyer particulier, le nom de **fours à boulanger**.

4° Fours dans lesquels l'échauffement est produit par chauffage extérieur des vases, dans lesquels sont enfermés les corps à chauffer. Dans ce cas, le chauffage a lieu par transmission de la chaleur développée aux parois des vases et de celles-ci aux corps qui se trouvent à l'intérieur des vases. On nomme ces fours **fours à moufles**, **fours à creusets**, **fours à cornues** ou à **tubes**, etc., suivant l'espèce des vases qui y sont chauffés, ou, comme en Allemagne, on les désigne sous le nom collectif de **fours à vases** (*Gefässöfen*).

#### a. FOURS DANS LESQUELS LE CHAUFFAGE A LIEU PAR CONTACT IMMÉDIAT DES CORPS A CHAUFFER AVEC DES COMBUSTIBLES SOLIDES OU LIQUIDES

Dans ces fours, le combustible solide ou liquide est en contact immédiat avec les corps à chauffer.

Le **combustible solide** est un combustible étranger ou bien il est formé par le corps à chauffer lui-même, la chaleur nécessaire étant fournie par l'oxydation de certains de ses éléments.

Le **combustible liquide** n'est formé que par le corps à chauffer lui-même, certains des éléments des corps introduits dans le four à l'état fondu étant brûlés par l'air soufflé et développant ainsi la chaleur nécessaire. Ainsi, le silicium et le phosphore sont des combustibles dans la préparation du fer fondu d'après les procédés Bessemer et Thomas ; il en est de même du soufre et du fer dans l'extraction du cuivre de la matie cuivreuse d'après le procédé au convertisseur.

##### α. — FOURS AVEC CHAUFFAGE PAR DES COMBUSTIBLES SOLIDES

Les fours dans lesquels le chauffage a lieu au moyen de combustibles solides comprennent les **fours-tas**, les **bas foyers** et les **fours à cuve**.

Les **fours-tas** sont des dispositifs, dans lesquels de grandes masses sont accumulées et chauffées en même temps sans changement de leur position et de leur état d'agrégation. C'est pour cela qu'ils ont une très grande surface de base et une hauteur relativement faible.

Les **bas foyers** sont des foyers ou des cavités à parois peu étendues, dans lesquels on ne chauffe à la fois que de faibles quantités de corps. La projection verticale de l'intérieur du four est plus petite en surface que la projection horizontale.

Les **fours à cuve** sont des enceintes entourées de matières réfractaires, avec grand axe généralement vertical, dont la projection verticale possède au moins la même surface que la plus grande projection horizontale. Les corps à chauffer et les combustibles se meuvent dans ces fours de haut en bas.

##### **Fours-tas.**

Les **fours-tas** (dispositifs dans lesquels de grandes masses sont accumulées et chauffées sans changement de position), ont toujours une sole



immobile, tandis que les enceintes latérale et supérieure de la capacité du four sont mobiles, ou tout à fait ou partiellement immobiles.

Les fours, dont les enceintes latérale et supérieure (c'est-à-dire les parois et la couverture) sont mobiles sont appelés *tas* ; les fours dont les parois seules, ou les parois et la couverture sont immobiles, sont désignés sous le nom de *stalles*.

L'enceinte mobile des *tas* est ordinairement formée par une partie des corps à chauffer, plus rarement par des corps étrangers.

L'enceinte immobile des *stalles* est formée par une maçonnerie.

Les fours-*tas* sont employés exclusivement pour effectuer des calcinations et surtout des opérations de grillage, dans lequel cas on les nomme *tas de grillage* ou *stalles de grillage*.

#### *Tas.*

Le *tas* est formé de fragments, rarement de schlichs des corps à chauffer et il reçoit ordinairement la forme d'une pyramide quadrangulaire tronquée, très rarement celle d'un cône.

Les corps à calciner ont dans la plupart des cas une teneur en soufre ou en bitume telle que les *tas* après leur allumage brûlent d'eux-mêmes.

On érige les *tas* à l'air libre, s'ils doivent être composés de minerais ou de produits métallurgiques brûlant facilement, et qui en brûlant ne fournissent pas de sels solubles. Autrement, on les établit sur des emplacements munis de toits, désignés sous le nom de *halles de grillage*.

La sole des *tas* est faite avec de l'argile, des scories, des mélanges d'argile et de charbon (brasque) ou de terre limoneuse. Si les corps à calciner ou à griller ont une teneur en substances bitumineuses telle qu'ils peuvent être allumés directement (*black-band*, schiste cuprifère), ils sont entassés sur cette sole (appelée *sole de grillage*, lorsque les matières composant le *tas* doivent être grillées); si, au contraire, ils sont difficilement inflammables, on les entasse sur une couche de combustible étendue sur la sole (*lit* ou *lit de grillage*). Cette couche est ordinairement formée de bûches ou, à défaut de celles-ci, de fagots, de brindilles, de houille, de charbon, de bois ou de bruyère. Dans le *lit* de combustibles, on réserve plusieurs canaux horizontaux pour l'entrée de l'air. Afin de favoriser le tirage et l'entraînement des gaz, on ménage aussi dans les *tas* des canaux verticaux, que l'on fait communiquer avec les canaux de la couche de combustible. Dans le même but, on établit également dans les *tas* des cheminées en maçonnerie munies de trous.

Les corps à calciner ou à griller sont déposés sur la sole ou le *lit* du *tas*, de façon que les morceaux les plus gros forment les couches inférieures du *tas*, les morceaux les plus fins ou le schlich les couches supérieures. Sur les morceaux les plus gros, on place les morceaux un peu moins gros et sur ceux-ci les plus petits, en continuant ainsi jusqu'à ce qu'on soit arrivé graduellement aux très petits fragments, aux schlichs. Dans beaucoup de cas, le *tas* est aussi muni d'une couverture de schlich. Cette dernière a dans nombre de cas (*grillage de minerais de cuivre pyriteux*) une importance toute particulière pour la réussite du grillage. Les schlichs étaient autrefois enveloppés dans de la chaux, afin que pendant la calci-

nation ils ne s'agglutinent pas et n'éteignent pas le feu. Les schilchs, dont le cuivre doit être transformé en sulfate, sont parfois mélangés avec des lessives de sulfate ferreux, puis moulés en petites boules ou cônes tronqués et ensuite réunis en tas.

Indépendamment de la couche de combustible disposée sur la sole des tas, on en place aussi d'autres dans le tas lui-même, lorsque les corps à

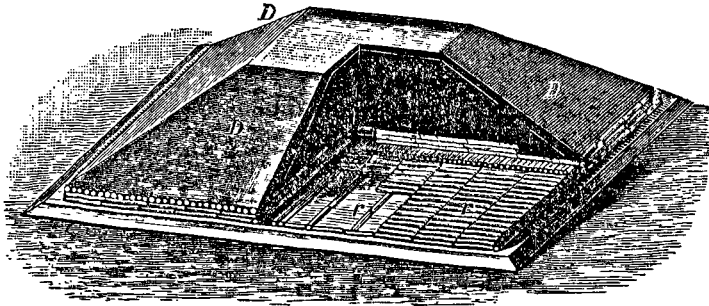


Fig. 183. — Tas de grillage avec lit de bois.

calciner ou à griller ne continuent pas à brûler d'eux-mêmes ou lorsque des schilchs doivent être grillés en tas, ou bien lorsque des sulfates, des arséniate et des antimoniates, qui se sont formés pendant le grillage doivent être détruits. Pour détruire ces sels, on intercale des couches de charbon de bois.

L'épaisseur et le nombre des couches de combustibles dépendent de la

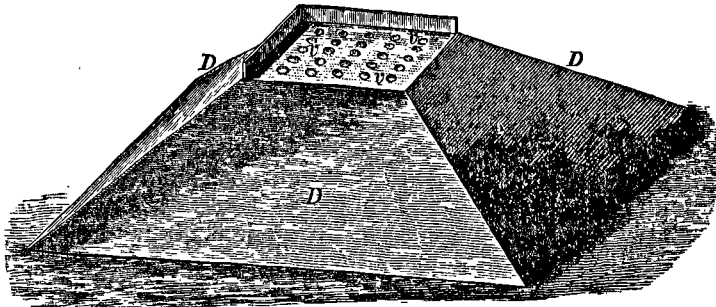


Fig. 184. — Tas de grillage avec lit de bois et cavités pour recueillir le soufre.

teneur en soufre et en bitume des corps à calciner. Avec des corps très riches en bitume, comme, par exemple, les schistes cuprifères, on entoure seulement la base des tas d'une couche de menus branchages.

La disposition d'un tas avec lit de grillage, pour le grillage des minerais de plomb pyriteux, est représentée par les figures 183 et 184. *r* est le lit de grillage formé de bûches, sur lequel sont déposés les minerais, *D* est la couverture, formée de minerais menu grillé. Dans les cavités hémisphériques *v* (fig. 184), on recueille une partie du soufre qui se dégage de la pyrite.

Lorsqu'il s'agit d'établir une série de grands tas, comme lors du grillage

de minerai de cuivre pyriteux, le chargement du minerai sur le lit de grillage est effectué, dans un grand nombre d'usines des États-Unis de l'Amérique du Nord, au moyen de wagonnets roulant sur une voie établie sur des supports au-dessus de l'aire de grillage à une hauteur convenable et dans la ligne médiane des tas. On peut adapter à cette voie des plaques tournantes mobiles, qui à leur tour, peuvent être reliées à des rails mobiles reposant sur des supports provisoires. Grâce à cette disposition, il est possible de déverser le minerai en un point quelconque du tas. Elle est représentée par les figures 185 et 186. Les minerais grillés

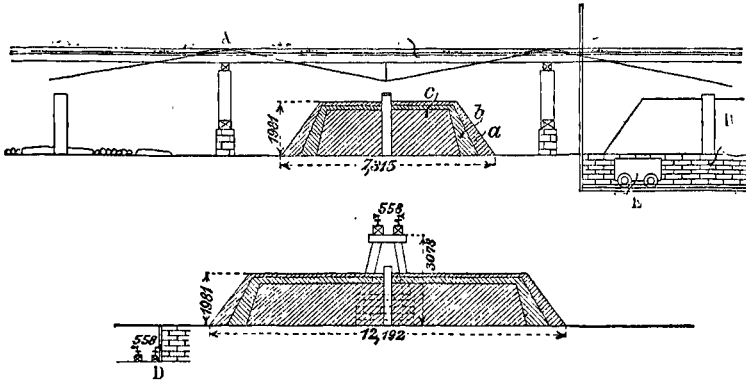


Fig. 185 et 186. — Tas de grillage; dispositif usité aux Etats-Unis pour l'érection des tas et l'enlèvement des minerais grillés.

A. Voie conduisant du dépôt des minerais aux tas de grillage.

B. Mur latéral.

E et D. Voies conduisant au four de fusion.

sont chargés dans des wagonnets roulant sur une autre voie conduisant aux fours de fusion.

Comme les grands tas exigent proportionnellement moins de combustible que les petits, il vaudra toujours mieux ne jamais construire des tas contenant moins de 5 tonnes de matières. Les tas renferment généralement de 300 à 500 tonnes. On va exceptionnellement (à Rio-Tinto, en Espagne) jusqu'à 1 500 tonnes. Si l'on veut qu'un tas brûle très rapidement, on donne à sa base la forme d'un rectangle allongé. Afin de faciliter l'érection des tas, on leur donne rarement plus de 2,5 mètres de hauteur.

Dans les tas, la calcination ou le grillage exigent beaucoup de temps et il n'est pas possible de les régler exactement. C'est à cause de ces inconvénients que le grillage en tas, avec beaucoup de sortes de minerais, donne des résultats imparfaits. Il ne permet pas non plus de rendre inoffensifs ou d'utiliser les gaz résultant du grillage, et à défaut de halles de grillage il entraîne des pertes de métaux, par suite de la dissolution de composés métalliques solubles par les eaux pluviales. Mais, par contre, les frais d'établissement qu'il exige sont peu élevés; en outre, il ne demande que peu de main-d'œuvre et, avec des minerais riches en soufre ou bitumineux, une faible dépense de combustible. Il n'est plus employé que dans certaines circonstances, comme pour la calcination de minerais bitumineux (schistes cuprifères, black-band), le grillage de minerais de cuivre pyriteux pauvres, lorsqu'on veut préparer certains vitriols (sulfate de cuivre,

sulfate de zinc), dans le grillage pour noyaux, le grillage de matras de plomb et de matras de cuivre, ainsi que dans le grillage complémentaire de minerais et de matras déjà grillés en fours à cuve.

Lorsque, lors du grillage, il est mis en liberté de grandes quantités d'acide sulfureux, le grillage en tas ne peut plus être employé que dans les contrées où la terre a si peu de valeur qu'il n'y a pas lieu de s'occuper du dommage que peuvent causer les gaz de grillage.

### Stalles.

Les **stalles** servent exclusivement pour le grillage et c'est pour cela qu'elles sont aussi appelées stalles de grillage.

Ce sont des espaces entourés complètement ou partiellement par une maçonnerie; ils offrent une forme rectangulaire, carrée ou, mais plus rarement, circulaire. Ils possèdent des parois latérales et une couverture en maçonnerie, ou bien les parois latérales seules sont formées d'une maçonnerie. Dans le dernier cas, la couverture, comme pour les tas, est formée par une partie des masses à griller.

Les murs latéraux entourent les aires de grillage complètement ou seulement partiellement. Dans le premier cas, les murs latéraux sont pourvus des ouvertures nécessaires pour l'introduction du combustible et des corps à griller, ainsi que pour retirer les masses grillées.

Lorsque l'aire de grillage n'est que *partiellement* entourée par une maçonnerie, comme cela arrive fréquemment pour les stalles rectangulaires ou carrées ouvertes supérieurement, un des murs latéraux fait souvent défaut, de sorte que le chargement du minerai dans la stalle et son extraction de celle-ci après le grillage ont lieu par le côté ouvert. Pendant le grillage, ce dernier est ordinairement fermé au moyen d'un mur provisoire en pierres sèches.

L'air nécessaire pour le grillage passe par des canaux ménagés au pied des parois latérales et, s'il y a un mur provisoire, par des ouvertures ménagées dans celui-ci.

La sole des stalles est pavée ou damée et elle est horizontale ou inclinée.

On établit ordinairement plusieurs stalles l'une à côté de l'autre contre une paroi postérieure commune. On place aussi deux séries de stalles vis-à-vis l'une de l'autre et on les enferme dans une enceinte commune.

Les corps volatils qui doivent être condensés ou rendus inoffensifs sont recueillis, avec les stalles non voûtées, dans les parties supérieures froides de la masse soumise au grillage (Hg, S) ou bien, par des canaux ménagés dans la paroi postérieure de la stalle ou par des cheminées percées de trous, on les dirige dans des dispositifs de condensation, ou, s'il s'agit simplement de les rendre inoffensifs, dans de hautes cheminées. Des stalles voûtées, on conduit ces corps, par des canaux débouchant dans la voûte, dans les appareils de condensation ou de hautes cheminées.

On distingue les **stalles avec lit de grillage** ou les **stalles sans lit de grillage**. Dans les premières, les corps à griller sont disposés de la même manière que dans les tas sur une couche de combustible. On allume la stalle en mettant le feu au lit de grillage. Dans les stalles sans lit de grillage, les corps à griller sont entassés directement sur la sole. L'allumage a lieu

dans ce cas au moyen de foyers à grille, établis dans les parois latérales de la stalle.

Aux **stalles avec lit de grillage** appartiennent les stalles ordinaires avec sole horizontale et section rectangulaire, les stalles hongroises à section circulaire, les stalles styriennes à section rectangulaire et dispositifs pour recueillir le soufre, les stalles bohêmes à section rectangulaire et sole

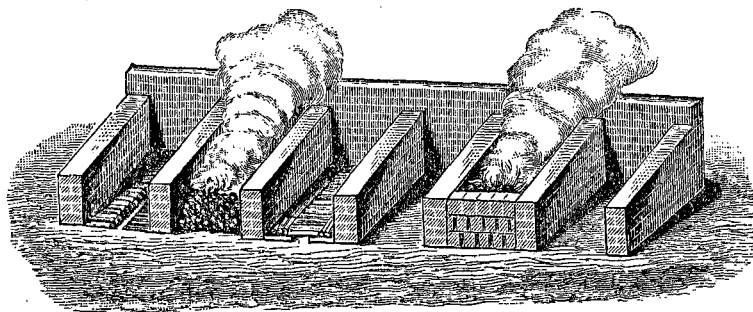


Fig. 187. — Stalles ordinaires complètement ouvertes en avant.

inclinée. Aux stalles sans lit de grillage, appartiennent les stalles de WELNER.

La disposition des stalles ordinaires habituellement réunies en une série, est représentée par les figures 187 et 188. On voit dans la figure 187 le lit de grillage et la fermeture du côté antérieur par un mur mobile ; les gaz de grillage se dégagent à travers la couche de menu qui recouvre le minerai. Pour que le chargement et le déchargement de ces stalles soient plus commodes, on leur donne presque toujours la forme rectangulaire.

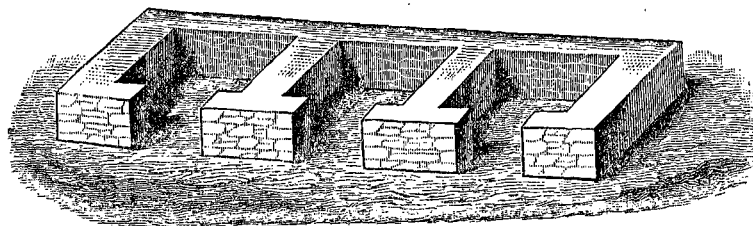


Fig. 188. — Stalles ordinaires en partie fermées en avant.

Les figures 189 et 190 représentent une double série de stalles, dont les vapeurs sont conduites dans une cheminée E par le canal commun K, qui se trouve entre les deux séries. Les gaz du grillage arrivent dans ce canal par les conduits *v, v*, ménagés dans la paroi postérieure de chaque stalle. L'air entre partie par le côté antérieur ouvert des stalles, partie par les carneaux *o, o* des parois latérales. Sur le canal K, se trouve une voie de fer, sur laquelle sont amenés dans des wagonnets les minerais à griller. Au pied de chaque série de stalles, il y a également une voie ferrée pour l'enlèvement des produits du grillage. Des stalles de cette espèce sont en

usage aux États-Unis de l'Amérique du Nord, pour le grillage des minerais de cuivre.

La stalle bohème, qui actuellement n'est plus employée, est représentée par la figure 191. *s* est la sole inclinée, *k, k* sont des conduits abducteurs

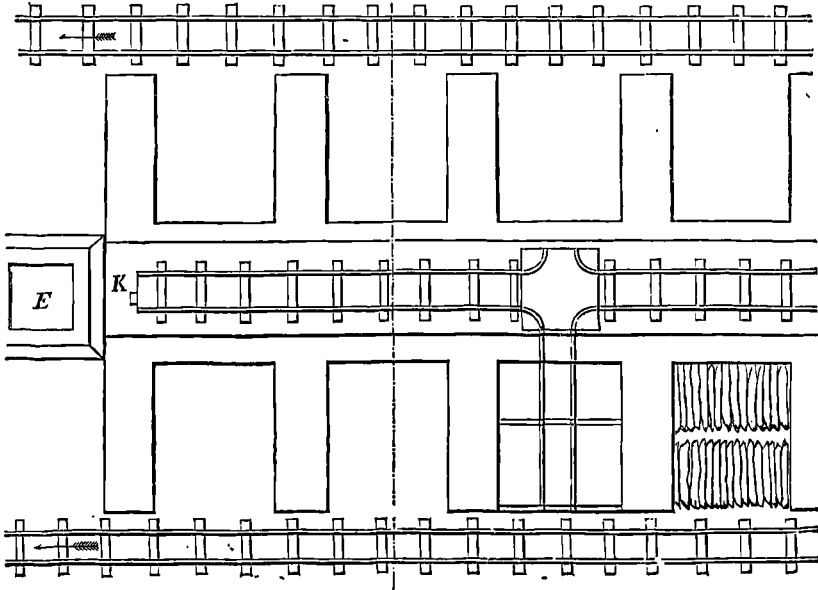


Fig. 189. — Double série de stalles; coupe horizontale.

ménagés dans la paroi postérieure, au moyen desquels les gaz se rendent dans les chambres à poussières *v* (où se précipitent les poussières

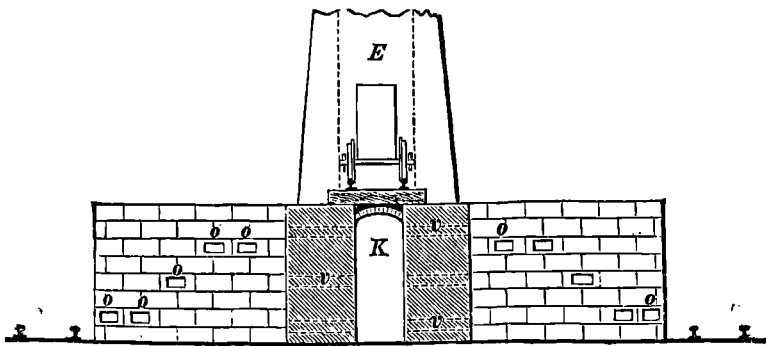


Fig. 190. — Double série de stalles; coupe verticale de deux stalles adossées.

entraînées) et de là dans la cheminée *E*. Les corps à griller sont introduits dans la stalle par une ouverture ménagée dans une de ses parois étroites (non visible dans la figure). Après le chargement de la stalle, cette ouverture est fermée avec des briques. Les masses à griller reçoivent

vent une couverture de schlich ou de minerai non grillé. L'air nécessaire pour le grillage pénètre par les ouvertures *o*, qui se trouvent dans la paroi antérieure de la stalle.

La stalle hongroise est circulaire, avec portes latérales dans la maçonnerie. Elle servait autrefois en Hongrie (à Stefanshütte, près Göllnitz) pour le grillage de minerais de cuivre mercurifères, mais actuellement elle n'est plus employée.

La stalle styrienne, qui est représentée par les figures 192 et 193, pos-

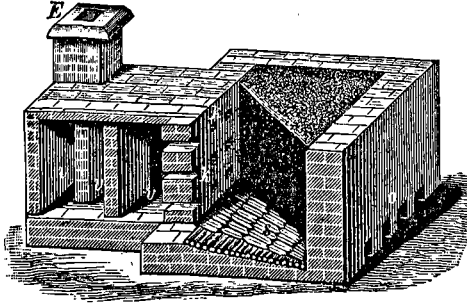


Fig. 191. — Stalle bohême.

sède dans sa sole *s* et dans ses parois *w* des canaux *k, k*, pour la sortie du soufre volatilisé pendant le grillage. Le soufre se rend à l'état liquide par ces canaux dans des récipients *z*, qui se trouvent devant les stalles et dans les niches *v*, ménagées dans les parois latérales de celles-ci.

La stalle de Wellner (fig. 194) a une sole inclinée et est ordinairement composée de deux moitiés A et B, dont chacune forme une stalle séparée.

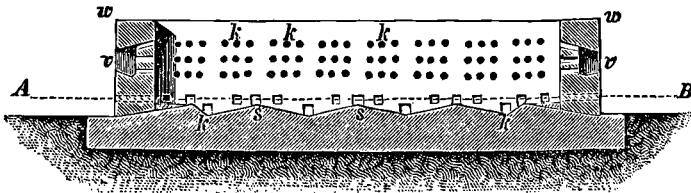


Fig. 192. — Stalle styrienne; coupe verticale.

Dans chacun des côtés étroits *s*, se trouvent trois ou quatre foyers à grille *r*, à l'aide desquels on allume les masses à griller. Le chargement a lieu par les ouvertures *O*, ménagées dans les longues parois latérales de la stalle. On laisse dans la masse des canaux libres, par lesquels peuvent passer les gaz de combustion des foyers à grille. On entretient le feu sur les grilles jusqu'à ce que la couche inférieure du minerai soit en combustion. La chaleur nécessaire pour le grillage est alors produite par l'oxydation des sulfures métalliques. Si le minerai doit subir plusieurs grillages, on ne charge que la moitié de la stalle et on laisse l'autre moitié libre pour recommencer le grillage.

Les stalles, qui communiquent avec des cheminées et dans lesquelles le tirage peut être réglé avec soin, ont l'avantage de permettre un grillage plus rapide et plus uniforme que les tas, tandis que les stalles avec tirage imparfait donnent des résultats beaucoup plus défavorables que le grillage en tas. Comme le grillage est d'autant plus difficile à régler que les stalles sont plus grandes, on ne donne pas à celles-ci de grandes dimensions,

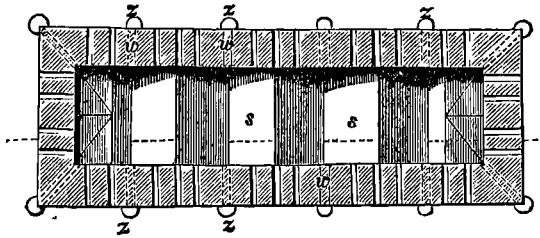


Fig. 193. — Stalle styrienne; coupe horizontale.

de façon à obtenir plus facilement un bon et rapide grillage. C'est pour cela qu'il est préférable d'employer, au lieu de grandes stalles, un grand nombre de petites avec entraînement des gaz de grillage dans des cheminées tirant bien. Une charge de 20 tonnes pour une stalle est considérée comme la meilleure.

Les stalles sans canaux pour l'entraînement des gaz et sans cheminée exigent pour le grillage le même temps que les tas. Mais elles protègent contre le vent et les intempéries, elles retiennent mieux la chaleur que les

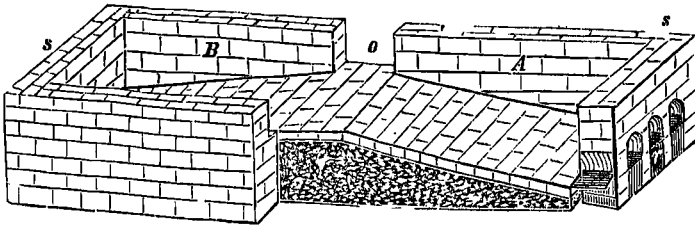


Fig. 194. — Stalle de Wellner.

tas et elles empêchent l'entraînement par la pluie des sulfates solubles dans l'eau.

On n'emploie de grandes stalles (sans tirage par cheminée) que lorsque le grillage doit avoir lieu lentement, comme dans le grillage pour noyaux et la sulfatation de minerais de cuivre sulfurés (stalles styriennes).

Le grillage en stalles exige une grande dépense de temps, mais qui est inférieure à celle que demande le grillage en tas. Il exige un plus gros capital d'établissement et plus de travail que le grillage en tas et il influence fâcheusement la santé des ouvriers lors de l'extraction des stalles du minerai grillé. Il permet d'éconduire les gaz résultant du grillage dans de hautes cheminées et avec cela de les rendre partiellement inoffensifs, mais non de les traiter pour acide sulfurique. Lorsque le tirage est bien conduit, on obtient avec les stalles un grillage meilleur et plus uniforme qu'avec



les tas et, en outre, la chaleur est mieux retenue. Le grillage en stalles doit donc être préféré au grillage en tas. Il trouve emploi dans les localités où on ne peut pas utiliser les gaz pour la préparation d'acide sulfurique, à défaut d'un marché pour ce dernier et dans lesquelles l'action nuisible des gaz sur la végétation peut être empêchée ou restreinte en dirigeant ces derniers dans de hautes cheminées ; on s'en sert aussi dans les cas où des minerais et des mattes déjà grillés dans des fours à cuve ont besoin de subir un grillage plus complet, auquel on ne peut pas arriver avec les fours à cuve, et enfin dans les localités où en a on vue un grillage pour noyaux ou sulfatant.

### Bas foyers.

Les bas foyers sont des foyers ou des cavités à parois peu élevées. Ils se distinguent des fours-tas parce qu'ils ne peuvent recevoir que de petites quantités des corps à chauffer et qu'ils travaillent généralement avec soufflerie (à l'exception de la sole ou aire de liquation), et des fours à cuve, parce que la surface de leur projection verticale est plus petite que celle de leur projection horizontale.

Ils servent aussi bien pour effectuer des opérations de calcination (corroyage et grillage du fer) que pour des opérations de fusion (ressuage, affinage, raffinage, fusion avec réaction) et de vaporisation (préparation du blanc de zinc avec des minerais).

Suivant le mode d'afflux de l'air, on distingue les **bas foyers avec tirage naturel** et les bas foyers dans lesquels l'air est soufflé à l'aide de dispositifs particuliers ou **bas foyers avec souffleries** (*bas foyers soufflés*).

### *Bas foyers sans soufflerie.*

Un seul bas foyer, la **sole ou aire de liquation**, appartient à cette catégorie. La sole de liquation servait autrefois pour séparer par ressuage ou

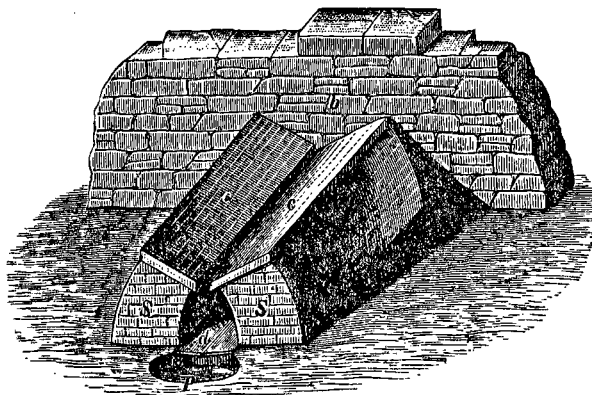


Fig. 195. — Aire de liquation.

liquation le plomb argentifère des alliages de plomb-cuivre-argent. Actuellement elle n'est plus employée.

La disposition d'une sole de liquation est représentée par la figure 195.

Elle se compose de deux longs murs *S, S*, appelés banquettes de liquation et de la paroi postérieure *b*. La partie supérieure oblique des banquettes est recouverte de plaques de fonte *c, c*, dites plaques de liquation.

Entre ces plaques, il ne reste qu'une fente étroite, la fente de liquation. Le fond de la sole est formé par une rigole *d*, inclinée d'arrière en avant et aboutissant à une excavation *p*, la fosse à plomb, qui se trouve devant la sole.

Les pains de l'alliage à liquater sont placés sur les plaques de liquation et entourés de charbon de bois.

Lorsque celui-ci a été allumé, le plomb argentifère resseue, tombe par la fente dans la rigole et coule dans la fosse à plomb.

### *Bas foyers soufflés.*

Dans ces bas foyers, on effectue des opérations de calcination, de fusion et de vaporisation. Aux premières opérations appartiennent le soudage ou corroyage du fer et de l'acier, ainsi que le grillage ou rôtissage.

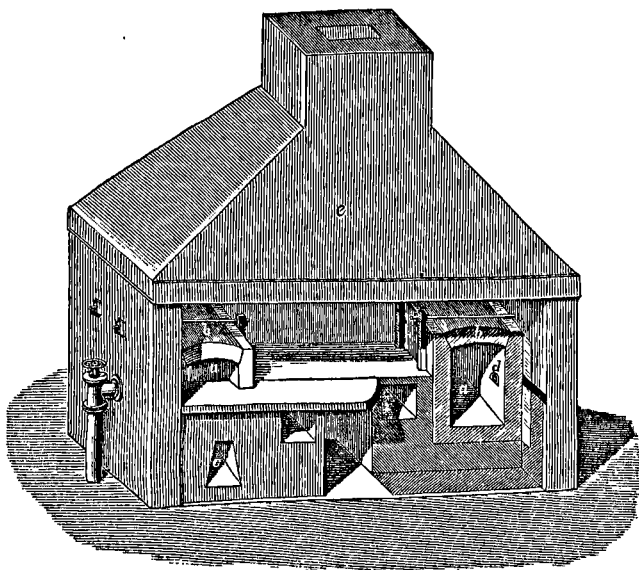


Fig. 196. — Four à réchauffer pour acier.

Comme bas foyers pour les opérations de calcination, nous mentionnerons le **four à réchauffer pour acier**, qui est représenté par la figure 196.

*a* est le foyer recouvert par une voûte *b*, afin de retenir la chaleur. Le vent y est introduit par la tuyère *d*. La sole du foyer est inclinée vers le côté antérieur. De la sole, la scorie coule dans le canal *c*, par lequel elle est éliminée. Relativement à sa hauteur, la sole a une grande profondeur, afin d'éviter l'oxydation des pièces à souder. On emploie aussi pour cette raison des combustibles très poreux, comme le charbon de bois, ou des

houilles riches en gaz. On réunit ordinairement, comme on le voit dans la figure, deux foyers sous une cheminée commune *e*.

Les opérations de fusion pratiquées dans les bas-foyers soufflés sont des fusions oxydantes (affinages, raffinages), ou des fusions réductrices (raffinage du cuivre), ainsi que des fusions avec réaction (extraction du plomb).

Parmi les bas-foyers pour fusion, nous mentionnerons le feu d'affinerie, les bas-foyers pour l'extraction du plomb et le petit foyer pour l'affinage du cuivre.

#### Feu d'affinerie.

Le feu d'affinerie sert pour la fabrication du fer malléable (fer soudé) avec la fonte. Sa disposition est mise en évidence par les figures 197 à 199. Actuellement, il n'est plus que rarement employé.

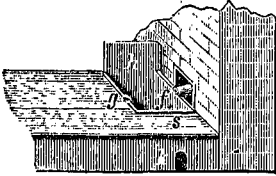


Fig. 197. — Feu d'affinerie.

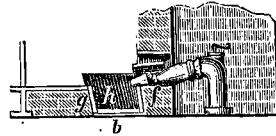


Fig. 198. — Feu d'affinerie; coupe verticale.

Il consiste en une caisse formée de plaques de fer, ouverte supérieurement et établie au-dessus d'une hotte. Comme cela a lieu pour les fours à réchauffer, deux feux d'affinerie sont ordinairement établis sous une hotte commune (fig. 199). On distingue les plaques qui forment le foyer en plaques latérales ou taques et plaques de fond. Les taques, qui sont en partie inclinées, ont des noms particuliers, *h* est la taque postérieure ou rustine, *g* la taque de contre-vent, *f* la taque de tuyère ou warme et *s* la taque à laitier ou laitierol ; cette taque est quelquefois remplacée par une paroi en brasque. *b* est la plaque du fond. *E* est la cheminée. Le vent est soufflé dans le foyer au-dessus de la taque *f*, au moyen d'un tuyau métallique *v*, appelé tuyère (voy. Appareils de soufflage).

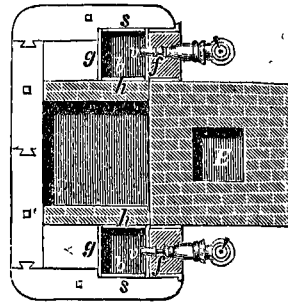


Fig. 199. — Feu d'affinerie; coupe horizontale.

La scorie formée dans le foyer peut être évacuée par une ouverture ménagée près du fond de ce dernier, qui est fermée avec de la brasque, et elle s'écoule ensuite par le canal *k*. L'ouvrier est placé du côté de la taque *s*. Le fer brut est fondu dans ce foyer au moyen de combustible carbonisé (charbon de bois), et par oxydation d'une partie du carbone, ainsi que par l'élimination des éléments étrangers, il est transformé en fer doux soudé.

*Bas-foyers pour l'extraction du plomb.*

A ces bas-foyers appartiennent le bas-foyer à plomb écossais, le bas-foyer américain avec refroidissement par l'air ou four ROSSIE, le bas-foyer américain avec refroidissement par l'eau, le bas-foyer de JAMBO ou de MOFFET avec refroidissement par l'air et par l'eau. Dans ces dispositifs, l'extraction du plomb est effectuée par *fusion avec réaction* (oxydation partielle du plomb de la galène à l'état de sulfate et d'oxyde de plomb, qui avec le sulfure de plomb non décomposé se convertissent en plomb et acide sulfureux). Dans ce mode d'extraction du plomb, le minerais et le combustible flottent sur le plomb.

Nous allons décrire dans les pages suivantes le bas-foyer écossais et le bas-foyer américain avec refroidissement par l'air.

*Bas-foyer à plomb écossais.*

Le bas-foyer écossais consiste en une caisse A (fig. 200 et 201) avec paroi antérieure peu élevée. Le fond a et les parois latérales, excepté l'an-

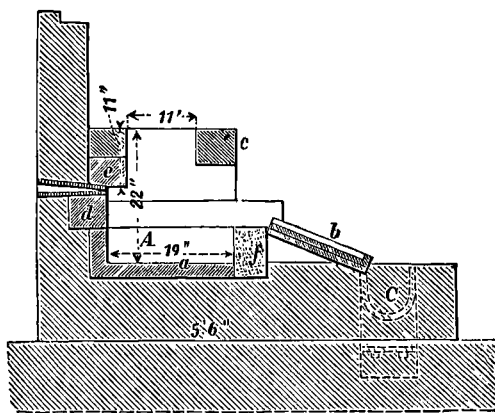


Fig. 200. — Bas-foyer écossais; coupe verticale.

térieure, sont en fonte, tandis que la paroi antérieure *f* se compose d'un

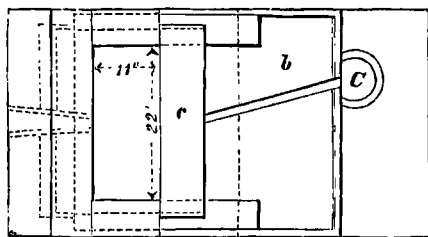


Fig. 201. — Bas-foyer écossais; coupe horizontale.

mélange de cendre d'os et de galène. A cette paroi antérieure, se rattache

une plaque de fer inclinée avec rigole *b*, devant laquelle se trouve une chaudière en fonte C (avant-creuset). Le vent arrive par la paroi postérieure du foyer. Le plomb fondu qui sort de la galène passe, dès que la cavité A est pleine, au-dessus de la paroi antérieure et arrive par la rigole *b* dans la chaudière collectrice C.

*Bas-foyer à plomb américain avec refroidissement par l'air.*

Le **bas foyer américain** est une caisse ou creuset en fer A (fig. 202 et 203) ouverte supérieurement, formée de quatre parois latérales et du fond, et à laquelle se rattache un avant-creuset, comme dans le bas-foyer

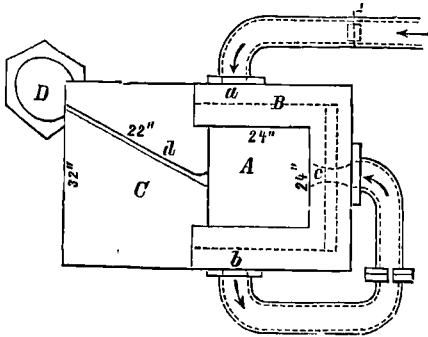


Fig. 202. — Bas-foyer à plomb américain (four de Rossie); coupe horizontale.

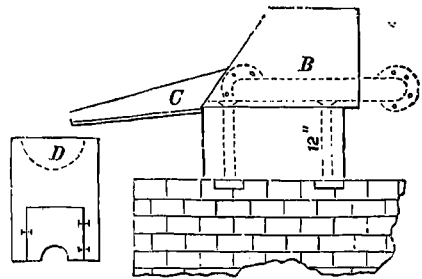


Fig. 203. — Bas-foyer à plomb américain; vue extérieure.

écossais. Sur la paroi postérieure et les deux parois latérales du creuset A, dont il forme comme un prolongement par en haut, se trouve un cadre en fer creux B (boîte à vent). Le vent soufflé est réchauffé dans ce cadre; il y pénètre en *a* et en sort en *b*, pour se rendre par un tube, en suivant la direction des flèches, dans la tuyère *c*, adaptée dans la paroi postérieure du creuset, et pénètre dans celui-ci. Dès que A est rempli de plomb, ce métal passe par-dessus la paroi antérieure dans la rigole *d* et de celle-ci dans l'avant-creuset D, qui peut être chauffé.

*Petit foyer pour l'affinage du cuivre.*

Le **petit foyer pour l'affinage du cuivre** (fig. 204) est une cavité hémisphérique *v* creusée dans une brasque lourde ou de l'argile, au-dessus de laquelle se trouve une hotte (non visible dans la figure). Par une ouverture ménagée dans la paroi postérieure *w*, le vent soufflé arrive dans la tuyère *n* et de cette dernière dans le foyer. Dans ce dispositif, on oxyde les impuretés du cuivre brut et on transforme ainsi celui-ci en cuivre affiné.

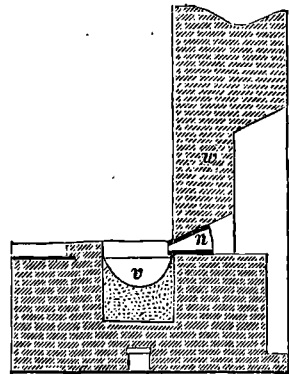


Fig. 204. — Petit foyer pour l'affinage et le raffinage du cuivre.

Ce petit foyer n'est plus actuellement qu'exceptionnellement employé.

On s'en servait aussi autrefois fréquemment pour le raffinage du cuivre, c'est-à-dire pour la réduction du protoxyde de cuivre contenu dans le cuivre affiné.

Un foyer pour opérations de vaporisation est représenté par le dispositif de WETHERILL, destiné à la préparation de blanc de zinc avec la willemite et la franklinite.

#### Foyer de Wetherill.

Le foyer de Wetherill représente un canal voûté, muni de portes à ses deux extrémités et dans lequel se trouve une grille de WETHERILL *a* (fig. 205 et 206). Celle-ci consiste en une plaque en fonte, percée de trous coniques, de façon que la petite extrémité du cône tronqué soit tournée par en haut, la grosse par en bas. Au-dessous de la grille est un cendrier

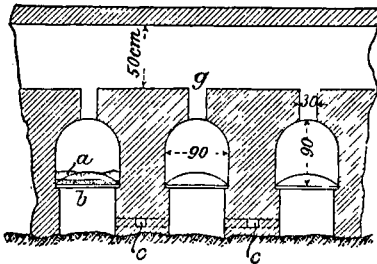


Fig. 205. — Foyer de Wetherill ;  
coupe transversale.

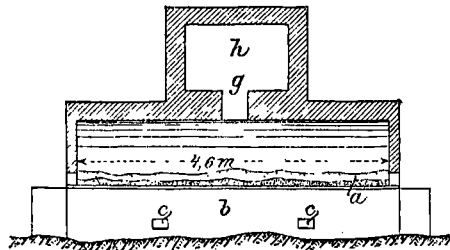


Fig. 206. — Foyer de Wetherill; coupe  
longitudinale.

fermé *b*, dans lequel est envoyé un courant d'air forcé par les canaux latéraux *c*. Dans la voûte du four se trouvent des rampants *g* pour l'entraînement des vapeurs et des gaz. Ceux-ci passent, des rampants, dans un canal collecteur *h*, ou d'abord dans des tubes ascendants en fer et ensuite dans un tuyau collecteur.

Le minéral de zinc est déposé sur une couche d'antracite recouvrant la grille et réduit en zinc par ce charbon ; le zinc, immédiatement après sa mise en liberté, est oxydé par l'air et par l'acide carbonique contenu dans les gaz de la combustion et les gaz provenant de la réduction. L'oxyde de zinc résultant de l'oxydation se rend avec les gaz et les vapeurs, du canal ou tube collecteur, dans des tours, où brûlent les vapeurs de zinc non encore oxydées et où se précipitent les particules de cendre et de combustibles entraînés ; il passe ensuite dans des chambres de réfrigération et finalement à travers des sacs dans lesquels est recueilli l'oxyde de zinc<sup>4</sup>.

#### Appréciation des bas-foyers.

A cause de leur faible hauteur, les bas-foyers ont l'inconvénient d'uti-

<sup>4</sup> Voy. pour la description détaillée de ces dispositifs, C. SCHNABEL, *Traité de métallurgie*, édition française par L. GAUTHIER, t. II, p. 217 et suiv.

liser incomplètement la chaleur développée, dont une grande partie se dégage sans profit. En outre, il n'est pas possible dans la plupart des cas d'y traiter de grandes masses. Pour les opérations de calcination et de fusion, dans lesquelles il s'agit de traiter de grandes quantités de corps métallifères, ils ont été remplacés par les fours à cuve ou à flamme, et aux feux d'affinerie on a substitué les convertisseurs. L'effet utile des bas-foyers s'élève à 3-7 p. 100.

#### Fours à cuve.

Les *fours à cuve* sont des espaces entourés de matériaux réfractaires, avec grand axe vertical et dont la projection verticale possède au moins la même surface que la plus grande projection horizontale. Les corps à chauffer et les combustibles sont chargés à l'extrémité supérieure du four, tandis que les produits solides et liquides du chauffage sont retirés par des ouvertures ménagées dans sa partie inférieure. A mesure que ces produits sont éliminés, les masses chargées à la partie supérieure du four descendent peu à peu. Les produits gazeux du chauffage sont éconduits à la partie supérieure du four. Ils circulent en direction contraire à celle des corps à chauffer. Dans les cas où des combustibles particuliers sont chargés avec les corps à chauffer, leur combustion a lieu dans la partie inférieure du four par l'air qui y est introduit. Les corps solides, dans leur marche descendante vers la partie inférieure du four, sont donc réchauffés par les gaz montant en sens inverse, tandis que ces gaz eux-mêmes perdent peu à peu leur chaleur, dont ils ont cédé la majeure partie lors de leur sortie du four. Par ce mouvement en sens opposé de corps, les uns absorbant de la chaleur, les autres en cédant (le principe du contre-courant), la chaleur est très bien utilisée. La même chose a lieu dans les fours à cuve avec foyers (fours à flamme à cuve), qui cependant appartiennent aux fours à flamme. L'effet utile de ces fours s'élève à 3-5 p. 100.

Dans les cas où des combustibles étrangers ne sont pas chargés avec les corps à chauffer, dans les cas par conséquent où ces derniers forment le combustible (sulfures métalliques), le développement de la chaleur, qui est également produit par de l'air introduit dans la partie inférieure du four, se manifeste surtout dans la partie supérieure de ce dernier (parce que les corps nouvellement chargés dégagent le plus de chaleur). Les gaz sortent par conséquent du four avec une haute température (grillage de sulfures métalliques au four à cuve). L'utilisation de la chaleur est, par suite, ici beaucoup plus imparfaite que lorsqu'on brûle des combustibles étrangers.

#### Forme des fours à cuve.

Au point de vue théorique général, il semble, pour les fours à cuve dans lesquels il ne doit pas être produit de très hautes températures, que la forme du cylindre est la plus avantageuse, parce que, à cause de la section horizontale circulaire de ce dernier, les pertes de chaleur par rayonnement extérieur sont les plus faibles, et en outre le frottement sur

les parois du cylindre de corps solides descendant dans le four, n'est pas très grand. Dans les fours pour hautes températures, l'espace dans lequel a lieu la combustion doit au contraire être resserré. Les gaz chauds acquièrent dans ce cas une grande vitesse, ils doivent par conséquent s'échapper de la zone de combustion avec une haute température, de sorte que, par suite de cela, le chauffage est très intense.

Mais la forme du four à cuve dont il vient d'être question subit cependant de nombreuses modifications, dues à la nature du procédé de séparation; à la forme de la charge descendant dans le four; à la température à obtenir dans ce dernier; à des considérations relatives à la construction, ainsi qu'à des conditions et des habitudes locales. Ce point sera traité avec tous les détails nécessaires à propos de la description des différentes espèces de fours à cuve.

### *Combustibles.*

On emploie en général comme combustibles pour les fours à cuve des *combustibles carbonisés* (coke, charbon de bois). On ne se sert qu'exceptionnellement de combustibles non carbonisés (lignite, anthracite). Ces derniers subissent, notamment dans la partie supérieure du four, une décomposition qui entraîne des pertes de chaleur. Les gaz combustibles ainsi dégagés (hydrogène, hydrocarbures, oxyde de carbone) ne brûlent pas dans le four, mais s'échappent avec les autres gaz et augmentent, d'une façon fâcheuse, le volume de ces derniers.

Les combustibles collants non carbonisés ne peuvent pas en général être employés, parce qu'ils obstrueraient le four.

### *Classification des fours à cuve.*

On distingue les fours à cuve, d'après la nature des opérations de séparation qui y sont pratiquées, en :

- 1° *Fours à cuve pour les opérations de calcination ;*
- 2° *Fours à cuve pour les opérations de fusion ou fours à cuve de fusion ;*
- 3° *Fours à cuve pour les opérations de vaporisation.*

Ces espèces de fours à cuve se distinguent à leur tour, d'après le mode d'introduction de l'air nécessaire pour la combustion ou l'oxydation, en :

1° Fours à cuve dans lesquels l'air est *aspiré*, la tension dans le four étant abaissée au-dessous de la tension de l'atmosphère à l'aide de cheminées ou par l'action des fours eux-mêmes agissant comme une cheminée, ou à l'aide d'autres dispositifs, etc. ;

2° Fours à cuve dans lesquels l'air est *refoulé* au moyen de souffleries agissant sous pression.

On nomme *fours à cuve à tirage naturel* les fours de la première espèce et *fours à cuve soufflés* ceux de la seconde.

### **Fours à cuve pour calcinations.**

Dans ces fours à cuve, on pratique surtout des opérations de grillage, et c'est pour cela qu'on les nomme aussi *fours à cuve de grillage*. Ce sont



presque sans exception des *fours à cuve à tirage naturel*. Ils ont sur les stalles et les tas l'avantage de mieux utiliser la chaleur ; en outre, ils permettent un travail continu et rendent possible l'utilisation des produits gazeux du chauffage.

On les distingue en fours dans lesquels le chauffage a lieu au moyen de combustible étranger et en fours dans lesquels les corps à chauffer eux-mêmes fournissent la température nécessaire. Ces deux espèces de fours se distinguent à leur tour en fours pour le chauffage des corps en morceaux et fours pour le chauffage des corps métallifères pulvérisés.

#### Fours chauffés au moyen de combustible étranger.

##### *Fours pour le chauffage de corps en morceaux.*

Ces fours sont surtout employés pour la calcination ou le grillage des minerais de fer et la calamine.

On leur donne habituellement une section horizontale circulaire et fréquemment on fait aller celle-ci en diminuant vers la partie inférieure, parce qu'il se produit une diminution de volume par suite de la combustion

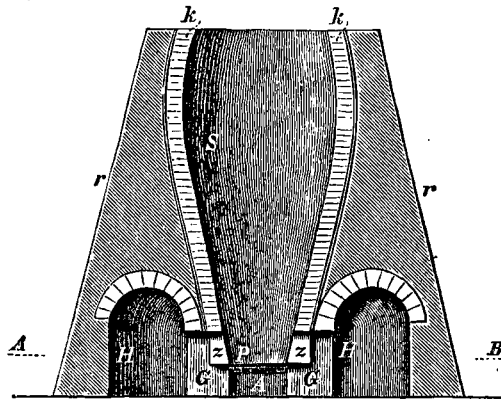


Fig. 207. — Four à cuve avec muraillement et grille plane pour le grillage des minerais de fer; coupe verticale suivant CD (fig. 208).

du combustible. La section horizontale reçoit aussi quelquefois la forme du rectangle ou du carré. Inférieurement, les fours sont complètement ouverts et alors la charge repose sur la terre ou bien ils possèdent une sole formée d'une maçonnerie ou d'une grille. La sole en maçonnerie est plane ou en forme de chevalet, ou bien conique. Les grilles formant la sole sont des grilles planes, des grilles à gradins, des grilles coniques ou des grilles en forme de deux plans inclinés.

On entourait autrefois la partie interne du four, la paroi ou chemise intérieure, d'un épais muraillement, afin d'empêcher les pertes de chaleur. Cependant, comme on a reconnu que celles-ci, dans les fours sans muraillement n'offrent que peu d'importance, depuis quelque temps on supprime le muraillement et on entoure la chemise intérieure d'un manteau ou d'un

neaux en fer, s'il s'agit de fours à section horizontale circulaire; et de

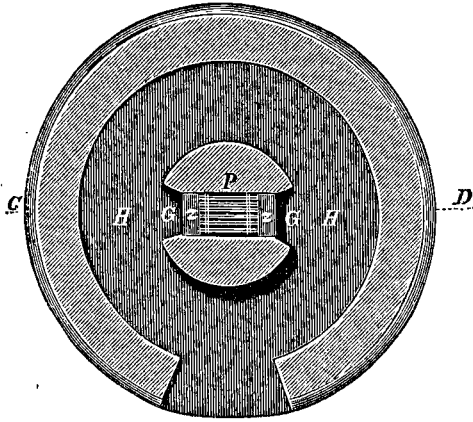


Fig. 208. — Four à cuve pour le grillage des minerais de fer; coupe horizontale suivant AB (fig. 207).

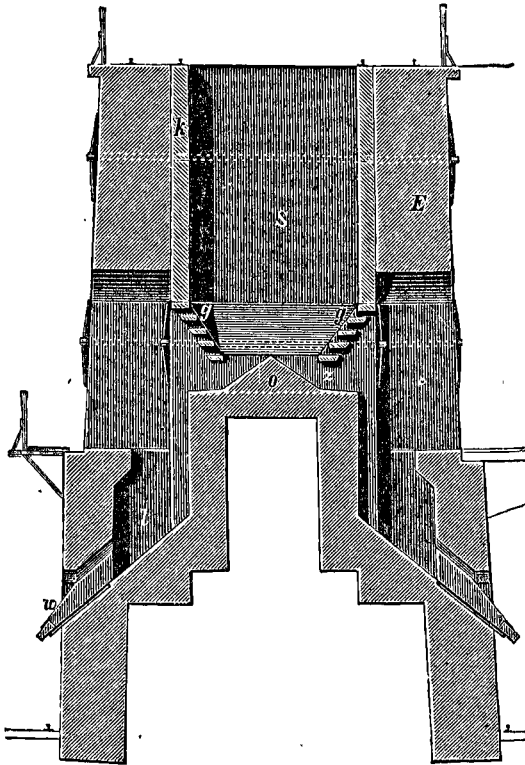


Fig. 209. — Four à cuve de Wagner pour le grillage du fer spathique.

plaques de fer maintenues par des ancrés, s'il s'agit de fours à section horizontale oblongue ou carrée.

Des fours sans sole, les masses une fois la calcination ou le grillage effectués, sont simplement enlevées. Les fours avec sole en maçonnerie ou avec grille sont ordinairement munis d'ouvertures particulières par lesquelles est retiré le produit du grillage. Ces ouvertures servent en même temps d'orifices d'entrée pour l'air. S'il doit se produire dans le four une action oxydante énergique, comme, par exemple, lors du grillage de minerais de fer contenant de la pyrite, le four est pourvu dans toute sa hauteur d'ouvertures pour l'entrée de l'air.

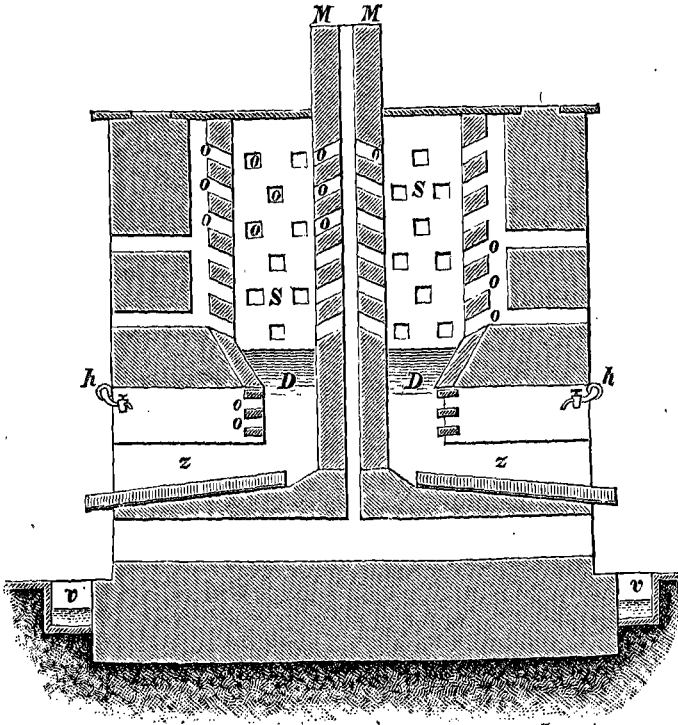


Fig. 210. — Four à cuve de Wagner, pour le grillage des fers spathiques pyritifères.

Les figures 207 et 208 représentent la disposition d'un four avec muraillement et grille plane, tel qu'il était autrefois employé pour le grillage des minerais de fer. S est la cuve, *k* la chemise intérieure, *r* le muraillement, P la grille plane, A le cendrier ; *z, z* sont les ouvertures par lesquelles on retire du four le produit du grillage. Ce dernier est déversé de ces ouvertures sur le sol des voûtes latérales G et il est ensuite transporté au dehors par les galeries voûtées H.

Dans la figure 209, est représenté un four de WAGNER avec muraillement et grille à gradins pour le grillage du fer spathique.

S est la cuve, *k* la chemise intérieure, E le muraillement, *g* la grille à gradins formée de barreaux en fer. O est la sole du four en forme d'un double plan incliné, de laquelle le produit du grillage est retiré par les

ouvertures  $z$  et déversé en  $l$ , d'où il tombe ensuite par  $w$  dans des wagonnets.

La disposition d'un four de grillage pour fers spathiques pyritifères, également dû à WAGNER, est mise en évidence par la figure 210. Deux fours  $S$  sont adossés et séparés l'un de l'autre par les cloisons  $M$ ,  $M$ . Dans toute l'étendue de sa longueur, chaque four (qui a 19,9 m. de long et 0,94 m. de large) est partagé par les murs  $D$  en forme de toits en 10 compartiments (de 1,34 m. de longueur), dont chacun est pourvu d'une ouverture  $z$  pour l'extraction des masses grillées. L'air pénètre dans les fours par

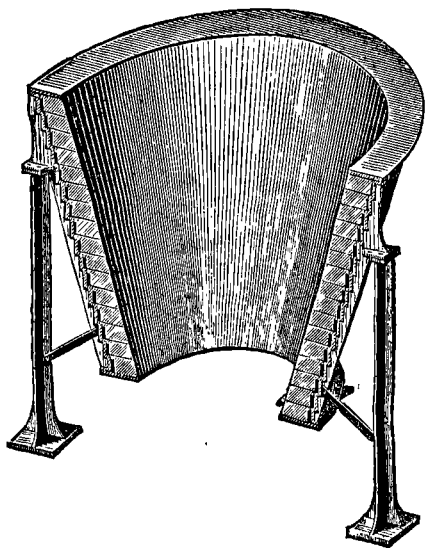


Fig. 211. — Autre forme de four pour le grillage du fer spathique.

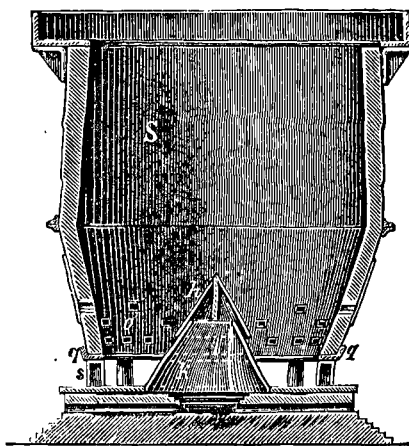


Fig. 212. — Four de Giers pour le grillage des sphérosidériles argileuses (Cleveland.)

les orifices  $o, o$ , ménagés dans toute la hauteur des cuves. Les minerais incandescents retirés du four sont éteints avec de l'eau (que l'on fait arriver par les tubes  $h, h$ ).

Un four très fréquemment employé depuis quelque temps pour le grillage du fer spathique est représenté par la figure 211. C'est un cône tronqué renversé en tôle forte, revêtu intérieurement de briques réfractaires et supporté par des colonnes. Les minerais reposent sur le sol. L'air pénètre par la partie inférieure du four.

Un four avec manteau en tôle et cône d'éboulement, tel qu'il en est usage à Cleveland pour le grillage des sphérosidériles argileuses (four de Giers) est représenté par la figure 212.  $S$  est la cuve,  $k$  le cône d'éboulement avec chapiteau  $h$ ;  $o, o$  sont les ouvertures pour détruire les obstructions qui peuvent se produire dans le four;  $s, s$  sont des colonnes qui supportent une couronne en fonte  $g$ . La cuve du four repose sur cette couronne.

*Fours pour le chauffage des corps métallifères pulvérulents.*

Le seul four de cette espèce, le four de WHELPÉLY et STORER, n'a pas encore été adopté définitivement. Comme le combustible est également chargé à l'état pulvérulent, il exige une construction et une conduite qui excluent le principe du contre-courant. La disposition de ce four, qui était destiné au grillage de minerais de cuivre, est mise en évidence par la figure 213.

C'est une cuve F s'élargissant par en bas, à section horizontale carrée

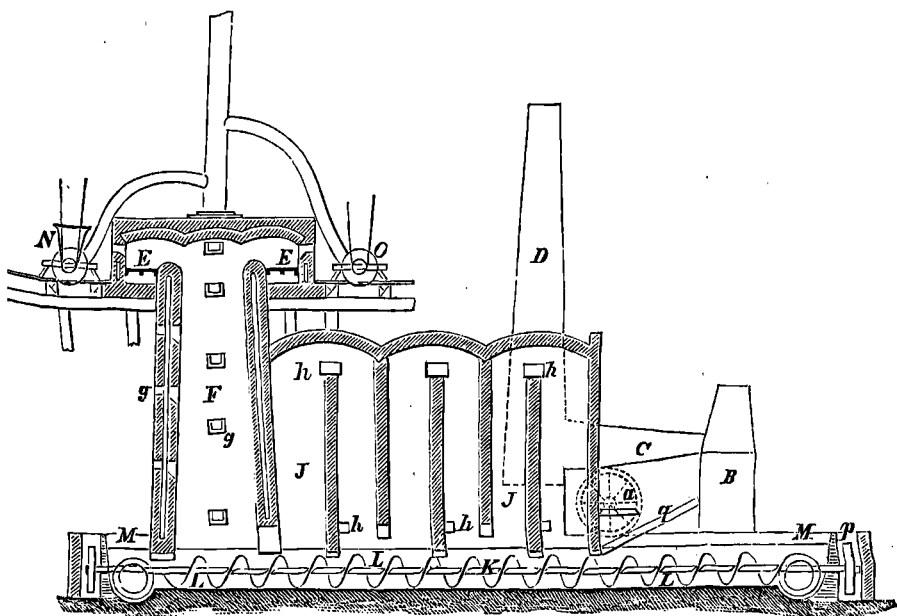


Fig. 213. — Four de Whelpely et Storer pour le grillage des corps métallifères pulvérulents.

ou oblongue, dans laquelle on souffle au moyen de ventilateurs, d'un côté, un mélange de poudre de minerai et de poudre de charbon et, d'un autre côté, de l'air chaud.

Le mélange de poudre de minerai et de poudre de charbon est soufflé par le ventilateur N, l'air qui s'est réchauffé dans les parois creuses de la cuve, par le ventilateur O. La cuve communique avec une série de chambres à poussières J, dans la dernière desquelles les gaz se rendant à la cheminée D sont mouillés avec de l'eau pulvérisée par la roue *a*, afin d'en éliminer les corps métalliques et l'acide sulfureux. Le fond de la cuve et des chambres à poussières est couvert d'eau. Le produit du grillage qui s'y rassemble est extrait au moyen de la vis d'Archimède K. La cuve du four est au début portée au rouge au moyen des foyers à grille E, E (et y est maintenue ultérieurement, si c'est nécessaire). La poudre de charbon in-

sufflée s'enflamme et entretient par sa combustion la température du grillage. Par les ouvertures *g* et *h*, ménagées dans les parois de la cuve et des chambres à poussières, on peut observer les processus qui se passent à l'intérieur du four.

#### Fours chauffés par les combustibles contenus dans les corps métallifères.

De pareils fours trouvent fréquemment emploi pour le grillage des sulfures métalliques. La chaleur nécessaire pour le grillage est fournie par les sulfures métalliques eux-mêmes. Aussi, le grillage peut-il, après qu'au début du travail il a été mis en train au moyen de combustible étranger, être continué pendant tout le temps que l'on désire. Avec ce mode de travail, on obtient de l'acide sulfureux, qui est exempt de gaz de combustion et est par suite propre à la fabrication de l'acide sulfurique.

#### Fours de grillage pour corps métallifères en morceaux.

Les fours pour le grillage des sulfures métalliques en morceaux ont généralement une section horizontale oblongue ou carrée. On choisit cette forme de section pour des raisons concernant la construction de ces dispo-

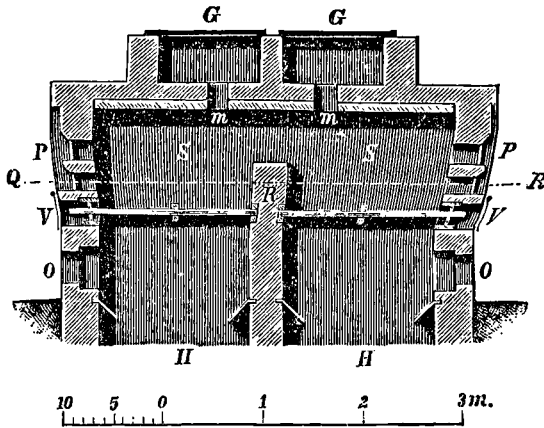


Fig. 214. — Brûleurs à pyrites; coupe verticale de deux cuves adossées suivant *OP* (fig. 215).

sitifs, parce que ordinairement une série de pareils fours sont réunis dans un seul massif, de sorte que l'établissement est moins coûteux qu'avec une section circulaire. Si les morceaux à griller sont très riches en soufre, on élargit les fours vers la partie supérieure, afin d'éviter les agglomérations et les fusions. Pour les minerais pauvres en soufre, on construit la cuve des fours avec des parois verticales. Ordinairement, ces fours ne sont pas pourvus d'un muraillement. Ils sont maintenus par des plaques de fer ou des bandes de fer et des tirants. Le minerai à griller repose soit sur une grille formée de barreaux de fer, soit sur la sole massive (plane ou en chevalet) des fours. L'air pénètre par les barreaux de la grille ou

par des ouvertures ménagées dans les parois latérales du four. L'extraction du four du produit du grillage a lieu, dans le cas de la présence d'une grille, par rotation des barreaux de celle-ci; s'il n'en est pas ainsi, on enlève le produit qui se trouve sur la sole, à l'aide d'outils spéciaux,

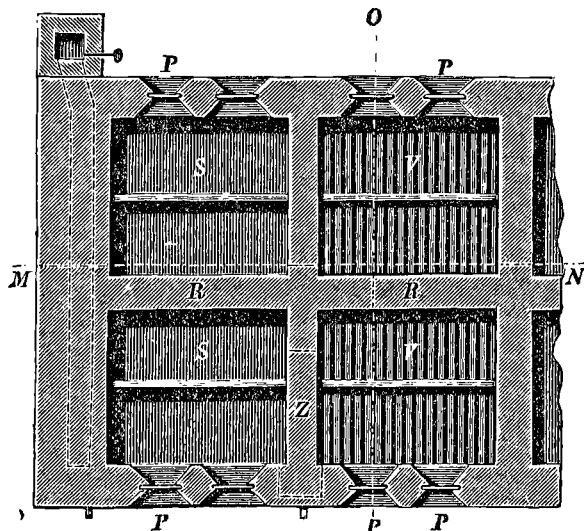


Fig. 215. — Brûleurs à pyrite; coupe horizontale suivant QR (fig. 214).

qu'ordinairement on introduit dans ce but par des ouvertures latérales.

On distingue cette espèce de fours de grillage en brûleurs à pyrites (nommés en Allemagne *Kiesbrenner* et en Angleterre *pyrites burners*) et

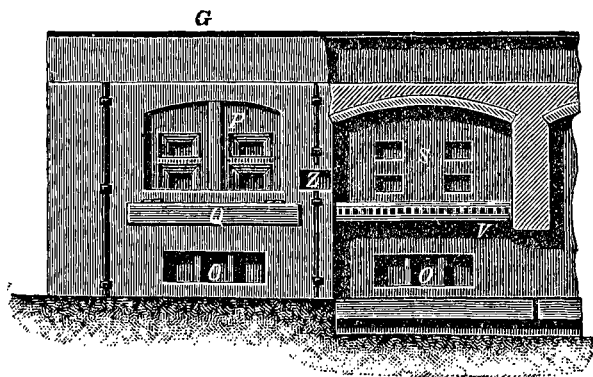


Fig. 216. — Brûleurs à pyrites; élévation de la face antérieure d'un four et coupe verticale suivant MN (fig. 215).

en kilns. Les brûleurs à pyrites sont des fours bas, dans lesquels les corps à griller reposent ordinairement sur une grille formée de barreaux rotatifs. Les kilns, nommés aussi fours à cuve, fours coulants, sont des fours élevés avec ou sans grille.

La disposition des brûleurs à pyrites est mise en évidence par les figures 214 à 216. S est la cuve. Huit cuves semblables sont adossées deux à deux de façon à former un système, dans lequel deux cuves opposées ont leur paroi postérieure commune ; cette paroi (R) ne monte pas jusqu'à la hauteur de la couverture du four, de façon que les gaz dégagés dans l'une des cuves puissent se mélanger avec ceux de l'autre cuve. (Dans beaucoup de cas, la paroi postérieure monte jusqu'à la couverture, de sorte que les cuves sont séparées l'une de l'autre.) V, V sont les grilles formées de bar-

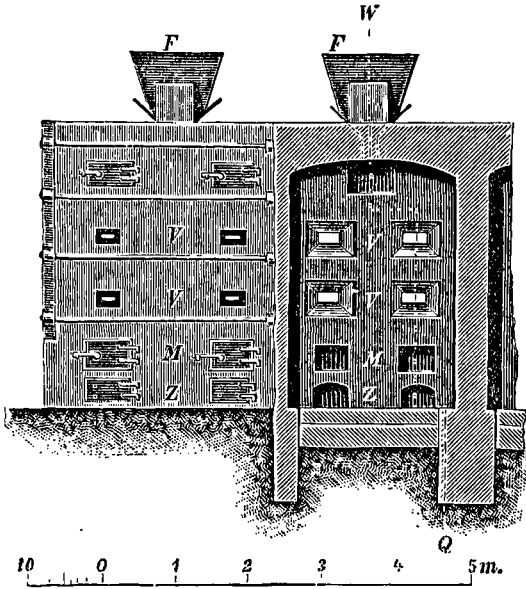


Fig. 217.

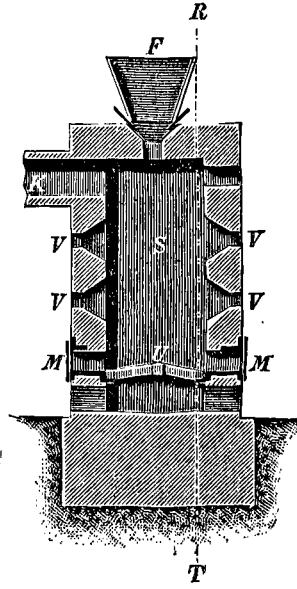


Fig. 218.

Fig. 217. — Kilns des usines de Freiberg; vue de face et coupe verticale suivant RT (fig. 218).

Fig. 218. — Kilns des usines de Freiberg; coupe verticale suivant WQ (fig. 217).

reaux rotatifs, sur lesquels reposent les morceaux des corps à griller (généralement des minerais). L'air pénètre, par les ouvertures O, au-dessous de la grille. Les gaz résultant du grillage passent, par les ouvertures *m* ménagées dans la couverture des cuves, dans les canaux G s'étendant au-dessus de celles-ci, et qui conduisent les gaz vers la fabrique d'acide sulfurique. Les minerais grillés sont évacués, par la rotation des barreaux des grilles, dans des wagonnets, qui sont poussés dans la galerie qui se trouve au-dessous des grilles. P, P sont des ouvertures de travail, par lesquelles on peut atteindre l'intérieur du four à l'aide d'instruments. Par la plus haute de ces ouvertures, on charge les minerais. Q est une porte à charnières, que l'on rabat au moment où l'on fait tomber du four le minerai grillé en tournant les barreaux de la grille. Z est un canal dans lequel on produit l'acide azotique nécessaire pour la fabrication de l'acide sulfurique (avec du salpêtre du Chili et de l'acide sulfurique).



Les figures 217 et 218 représentent la disposition des *kilns* de Freiberg.

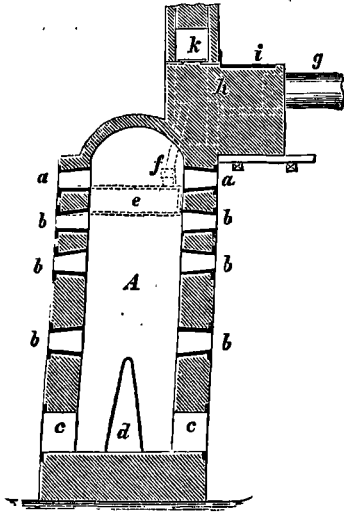


Fig. 219. — Kiln d'Altenau; coupe verticale.

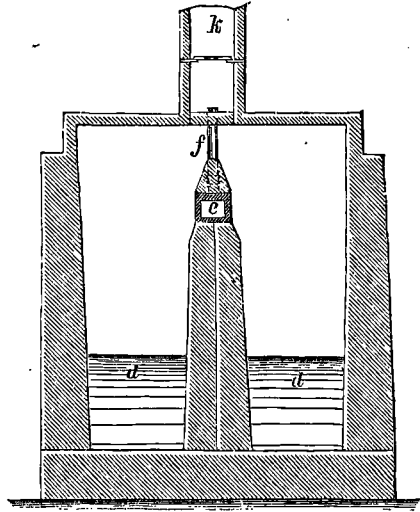


Fig. 220. — Kiln d'Altenau; coupe transversale.

S'est la cuve, qui a une section horizontale rectangulaire. Par l'ouverture

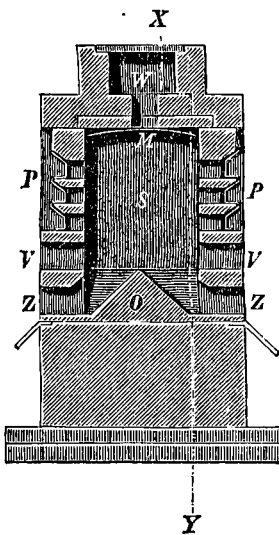


Fig. 221.

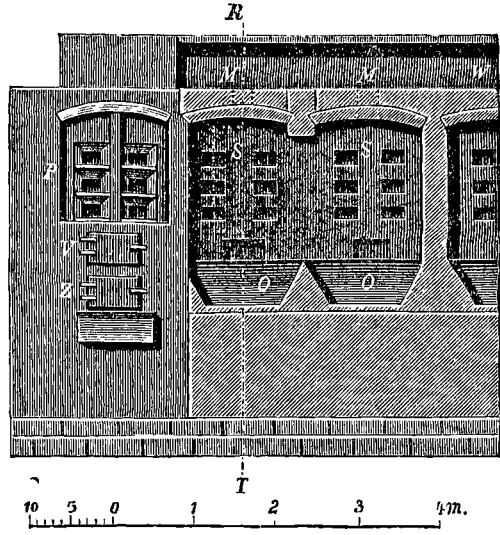


Fig. 222.

Fig. 221. — Kilns de l'usine d'Oker; coupe verticale suivant RT (fig. 222).

Fig. 222. — Kilns de l'usine d'Oker; vue de face et coupe verticale suivant XY (fig. 221).

munie d'une trémie F, qui se trouve dans la voûte du four, on introduit dans ce dernier les morceaux des minerais à griller. Ceux-ci reposent sur

une grille en chevalet U. L'air pénètre par les ouvertures Z. Les gaz résultant du grillage se dégagent par le conduit K. Le minerai grillé est retiré du four par des ouvertures M, M. V, V sont les ouvertures pour le travail des masses contenues dans le four.

La disposition d'un *kiln* d'Altenau, dans le Harz Supérieur (pour le grillage des mattes plombeuses) est mise en évidence par les figures 219 et 220. A est la cuve, d le chevalet ou pyramide d'éboulement; c, c sont les ouvertures pour l'extraction des produits du grillage, d, d les ouvertures de travail et a, a les ouvertures de chargement. Les gaz résultant du grillage passent par des ouvertures dans le tuyau g, qui conduit à la fabrique d'acide sulfurique. Les gaz peuvent aussi, par le canal k, être envoyés dans une cheminée. e est un canal, dans lequel est produit de l'acide azotique (avec du salpêtre du Chili et de l'acide sulfurique).

Une troisième disposition de *kilns* est représentée par les figures 221 et 222. S est la cuve, O la sole en chevalet; Z, Z sont les ouvertures pour retirer le minerai grillé, P et V les ouvertures de travail; M est l'ouverture par laquelle sortent les gaz du grillage, pour se rendre dans le canal W. Les corps à griller sont chargés par la série supérieure des ouvertures P. Ces kilns sont en usage à Oker, dans le Harz Inférieur.

#### *Fours de grillage pour sulfures métalliques pulvérulents.*

La cuve de ces fours n'est pas libre comme celle des fours dont il a été question jusqu'ici. Elle est munie de plaques horizontales ou inclinées ou de prismes, qui ralentissent ou empêchent complètement la chute libre des corps métallifères pulvérulents.

Les parois de la cuve sont verticales, et celle-ci a une section horizontale carrée ou oblique (ou circulaire, mais exceptionnellement.)

La chute libre des corps à griller est ralentie par des obstacles établis dans la cuve, dans le four de GERSTENHÖFER et dans l'ancien four d'IIASENCLEVER-HELBIG. Dans les *fours à tablettes*, au contraire, les corps à griller reposent sur une série de tablettes superposées. Dans les fours à tablettes d'OLLIVIER et PERRER, le premier four de ce genre qui ait été employé, les sulfures métalliques restent sur la même tablette pendant toute la durée du grillage, tandis que dans le four à tablettes de MALÉTRA, maintenant presque exclusivement employé, ils passent successivement sur toutes les tablettes.

#### *Four de Gerstenhöfer.*

Le *four de Gerstenhöfer* est représenté par les figures 223 et 224. Il constitue une cuve garnie intérieurement de barreaux en terre cuite prismatiques à section triangulaire, disposés horizontalement. Ces barreaux sont destinés à empêcher la chute libre des corps à griller, qui sont déversés à la partie supérieure de la cuve par des cylindres cannelés, et à les forcer ainsi à séjourner pendant longtemps dans la cuve. Dans ce but, les barreaux sont placés de façon que leur base tournée par en haut forme un plan horizontal et que la poudre tombant des barreaux d'une série supérieure tombe toujours sur ceux de la série immédiatement inférieure.

La poudre (le menu) se rassemble sur les barreaux de la série supérieure, jusqu'à ce qu'elle ait atteint son angle de chute naturelle ( $33^\circ$ ). Elle tombe alors des deux côtés du barreau, en se disséminant sur la

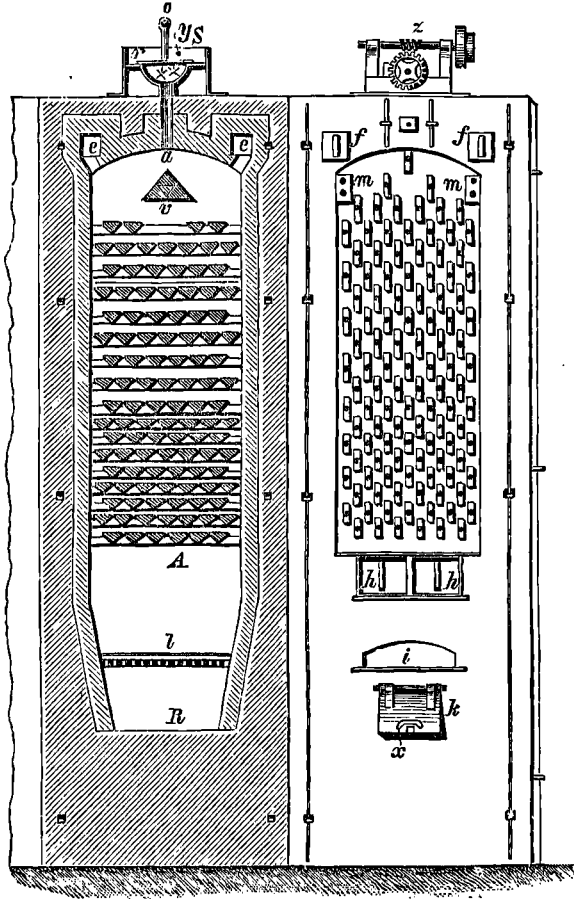


Fig. 223. — Four de Gerstenhöfer; coupe verticale suivant la longueur et vue de face.

série immédiatement inférieure, où le même processus se renouvelle et ainsi de suite.

Lorsque la poudre a atteint sur tous les barreaux son angle de chute naturelle, celle qui est alors déversée par les cylindres distributeurs ne peut plus rester sur les barreaux, mais, dans sa chute libre à travers les amas formés sur les différents barreaux, elle arrive peu à peu jusqu'à la sole du four.

L'air nécessaire pour le grillage pénètre à l'extrémité inférieure du four par des ouvertures latérales et, en montant dans la cuve, il se met en contacts multiples avec les sulfures métalliques à griller. Pour mettre le

four en activité, on allume sur une grille provisoire un feu, que l'on augmente graduellement, jusqu'à ce que les parois de la cuve soient portées au rouge. On introduit alors les corps à griller. Ceux-ci dégagent par la combustion de leur soufre assez de chaleur pour que le grillage continue de lui-même. Les gaz dégagés s'échappent par la partie supérieure du four

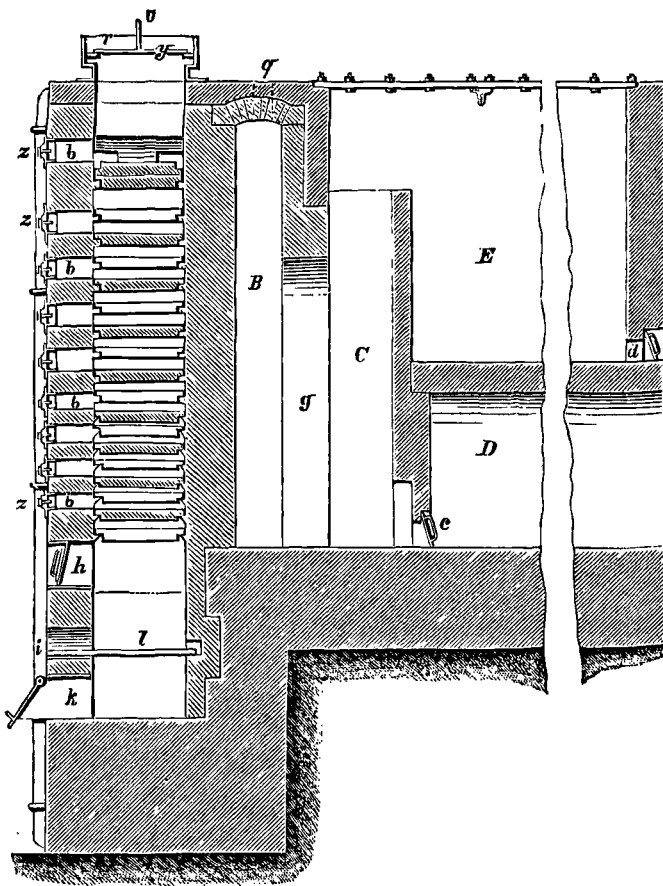


Fig. 224. — Four de Gerstenhöfer; coupe verticale d'avant en arrière.

et passent d'abord dans une chambre, où sont retenus les corps métallifères entraînés, et ensuite ils se rendent dans la fabrique d'acide sulfurique. Dans la paroi antérieure du four, on a ménagé des ouvertures, fermées par des tampons en fonte, par lesquelles on peut, en enlevant ces derniers, se rendre compte de la marche du grillage et, en outre, débarrasser les barreaux des masses agglomérées et maintenir libre le passage entre ces derniers. Chacune de ces ouvertures correspond à un barreau. Les tampons en fonte sont munis de trous ronds ou regards permettant d'observer le grillage et que l'on tient fermés au moyen de bouchons d'argile.

Dans les figures 223 et 224, A est la cuve du four,  $y$  l'appareil de chargement ;  $a$  sont des fentes par lesquelles la poudre tombe sur le premier distributeur  $v$  ; B et C sont des canaux pour l'évacuation des gaz provenant du grillage ; D est le canal qui conduit ces derniers à la fabrique d'acide sulfurique ; E est la chambre à poussières ;  $h$  et  $i$  sont des entrées d'air ;  $k$  est l'ouverture pour l'extraction des produits du grillage ;  $l$  est une

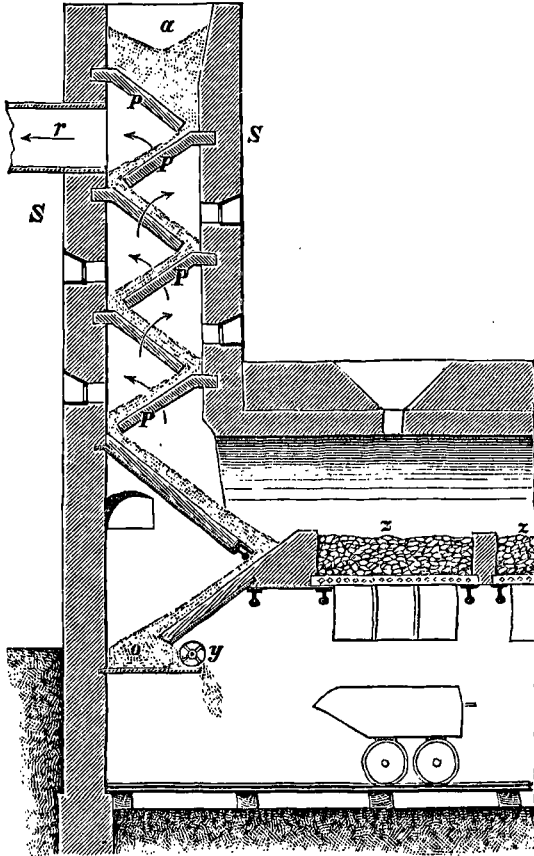


Fig. 225. — Four d'Hasenclever et Helbig; coupe verticale suivant la longueur.

grille provisoire, qui ne sert que lors de la mise en activité du four, mais qui plus tard est retirée ;  $b, b$  sont des ouvertures pour le nettoyage des barreaux ;  $z, z$  sont des boîtes en tôle pour fermer ces ouvertures.

Le four de GERSTENTHÖER a l'inconvénient de produire des quantités considérables de poussières et de produire un grillage imparfait. Il n'est employé que dans les cas où l'on ne veut obtenir qu'un grillage incomplet.

#### *Four d'Hasenclever et Helbig.*

Le four d'Hasenclever et Helbig (ancien four) est une combinaison d'un brûleur à pyrites avec une cuve ou une tour, qui est munie de tablettes

inclinées en sens opposé de 38 degrés, de façon à se trouver alternativement parallèles. Le minerai pulvérulent est versé à la partie supérieure de la cuve et, par suite de l'inclinaison des tablettes, il glisse peu à peu sur celles-ci jusqu'en bas et tombe de la dernière tablette dans un espace libre ou est enlevé continuellement de celle-ci par un petit cylindre. Les gaz dégagés dans le brûleur par le grillage de minerais en

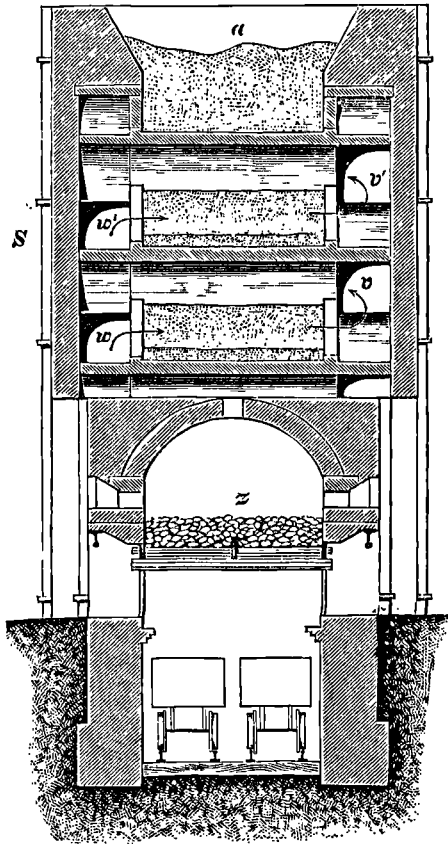


Fig. 226. — Four d'Hasenclever et Helbig ; coupe verticale suivant la largeur.

roche, passent d'abord au-dessous, puis au-dessus des tablettes, en s'élevant à travers les canaux ménagés dans les parois latérales de la cuve, ils se mêlent avec les gaz dégagés dans celle-ci et, par un tuyau qui débouche dans la partie supérieure de la cuve, ils se rendent à la fabrique d'acide sulfurique.

La disposition de ce four, dont le principe, d'après ce qui vient d'être dit, est le chauffage du minerai en poudre par les gaz chauds du grillage du minerai en morceaux, est représenté par les figures 225 et 226. S est la cuve munie des tablettes P ; z, z sont les brûleurs. w, w' et v, v' sont

les canaux par lesquels montent les gaz du grillage dans la direction indiquée par les flèches. Les schlichs sont chargés en *a* et retirés en *o* par le rouleau *y*. Les gaz suivent la direction indiquée par les flèches et se rendent par le tuyau *r* dans la fabrique d'acide sulfurique.

Dans ce four, le grillage de la poudre dépend du grillage du minerai en morceaux et à cause, de cet inconvénient, il n'est plus actuellement employé.

Le nouveau four d'HASENCLEVER et HELBIG est une cuve avec tablettes inclinées sans brûleur, qui cependant n'a pas trouvé emploi.

#### *Four d'Ollivier et Perret.*

Le four d'Ollivier et Perret est une combinaison d'un brûleur à pyrites avec un four à tablettes. Ce dernier est une cuve établie au-dessus du

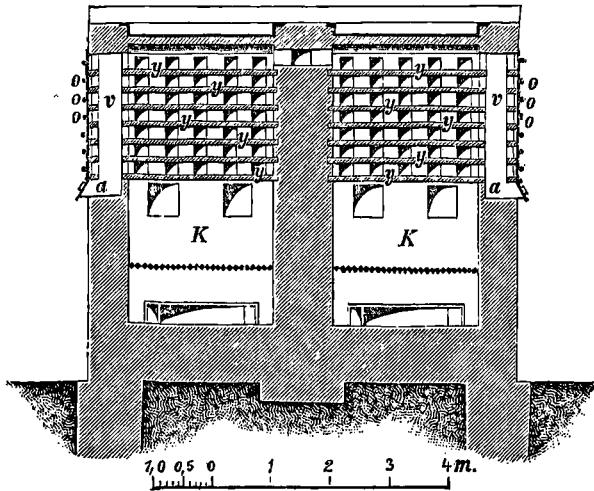


Fig. 227. — Four Ollivier-Perret; coupe verticale d'avant en arrière de deux fours adossés d'un groupe de quatre.

brûleur, qui est munie de tablettes en terre réfractaire disposées de façon que les gaz chauds du brûleur puissent passer au-dessous et au-dessus d'elles. Sur ces tablettes, qui laissent entre elles un intervalle d'une hauteur déterminée (30 centimètres), le minerai menu à griller est étendu en une couche de 5 centimètres environ d'épaisseur et y est laissé jusqu'à ce que son grillage soit terminé. Les gaz chauds du brûleur, qui, de même que dans le four d'HASENCLEVER-HELBIG, circulent de bas en haut dans des canaux ménagés dans les parois latérales du four, chauffent les tablettes et le schlich et se mêlent avec les gaz dégagés par ce dernier. A la partie supérieure du four, les gaz pénètrent dans un canal (*w*, fig. 228) aboutissant à la fabrique d'acide sulfurique. La poudre de minerai grillée est déversée dans un canal vertical qui se trouve devant les tablettes. Pendant que le four est en activité, ce canal est tenu plein de minerai grillé, qui forme en quelque sorte la paroi antérieure du four,

Dans ce four, le menu ne circule pas de haut en bas, mais reste sur les tablettes, pendant tout le temps que dure son grillage.

La disposition du four d'OLLIVIER et PERRET est représentée par les figures 227 et 228. K, K sont les brûleurs, S, S les cuves avec leurs tablettes en terre réfractaire *t*; *o*, *o* sont les ouvertures, munies de portes en fer, par lesquelles on charge sur les tablettes le menu à griller; *y*, *y* sont les canaux par lesquels montent les gaz produits par le grillage, *w*, *w* les conduits par lesquels ils se rendent à la fabrique d'acide sulfurique, *v*, *v* les canaux verticaux pour recevoir le minerai grillé et *a*, *a* des portes par lesquelles ce dernier est retiré du four.

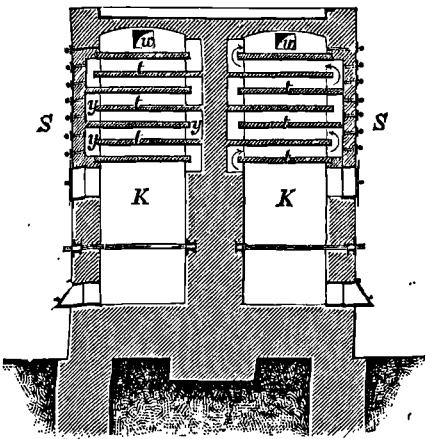


Fig. 228. — Four Ollivier-Perret; coupe verticale suivant la largeur de deux fours contigus d'un groupe de quatre.

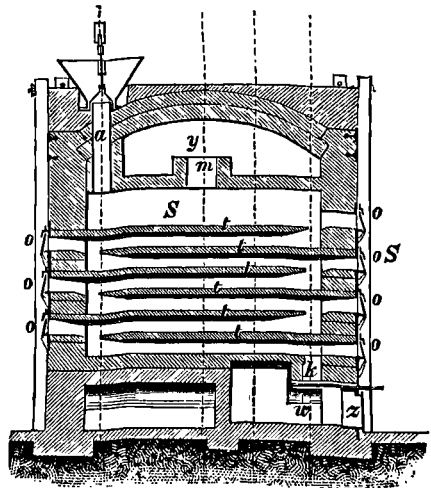


Fig. 229. — Four Malétra; coupe longitudinale.

Ce four a, comme celui d'HASENCLEVER-HELBIG, cet inconvénient que le grillage de la poudre dépend de celui du minerai en roche.

De même que le four d'HASENCLEVER-HELBIG, il a été remplacé par le four de MALÉTRA.

#### *Four de Malétra.*

Le four de Malétra, dont le principe sert maintenant de base à tous les dispositifs destinés au grillage des pyrites de fer et des pyrites cuprifères, consiste en une cuve pourvue de tablettes horizontales en argile réfractaire, sans brûleur. Les tablettes sont placées les unes au-dessus des autres à des distances telles que le minerai versé sur la tablette supérieure puisse passer successivement sur toutes les autres et être retiré de la dernière à l'état grillé. Au début du travail, le four est porté au rouge à l'aide d'un peu de combustible étranger et ensuite chargé de minerai menu. Le grillage de ce dernier continue ensuite de lui-même, la quantité de chaleur produite par l'oxydation des sulfures métalliques suffisant pour l'entretien de la température de grillage. La combinaison du four à



plaques avec des brûleurs à pyrite, comme dans les dispositifs précédemment décrits, n'est pas par conséquent nécessaire. Il est convenable

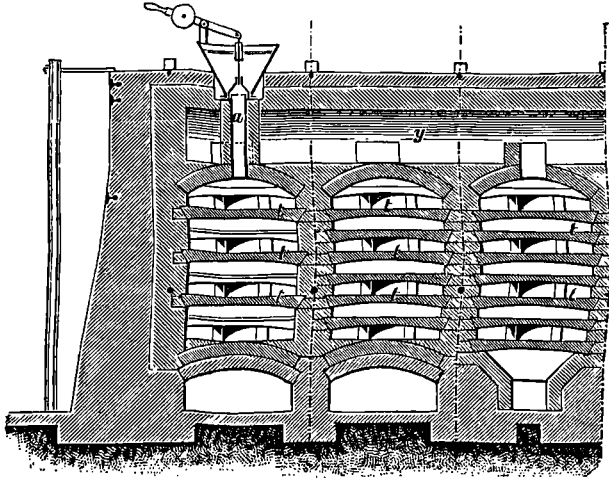


Fig. 230. — Four Malétra; coupe transversale de trois fours juxtaposés.

d'établir une porte devant chacune des tablettes pour le service de celles-ci.

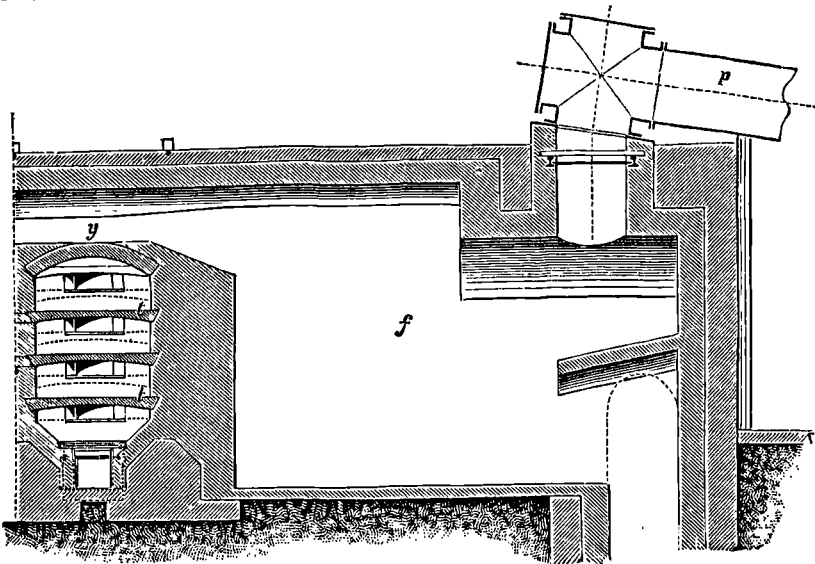


Fig. 231. — Four Malétra; coupe transversale d'un four et de la chambre à poussières.

La disposition du four de MALÉTRA est mise en évidence par les figures 229 à 233. *S* est la cuve; *t, t* sont les tablettes en terre réfractaire; *a* est

l'ouverture de chargement avec trémie, par laquelle le schlich à griller est déversé sur la tablette supérieure ; *o, o* sont les portes correspondant

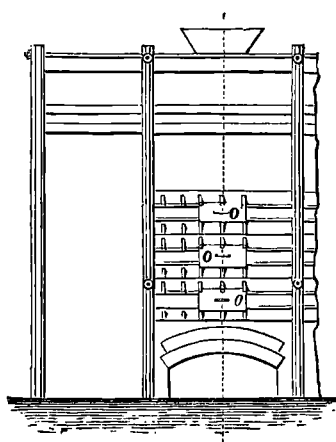


Fig. 232. — Four Malétra; vue de face d'un four avec les portes fermées.

même manière. Il est employé dans les pays où la main d'œuvre est

aux différentes tablettes; ces portes sont ouvertes lors du râblage du schlich et du transport de ce dernier d'une tablette sur l'autre. Le schlich grillé est déversé par le canal vertical *k* dans la cave *w*, de laquelle on le retire par la porte *z*. Les gaz se rendent, par l'ouverture *m* pratiquée dans la voûte, dans le canal *y*, commun à une série de fours; de ce dernier, ils passent dans la chambre à poussières *f*, et de celle-ci dans le conduit *p*, qui les amène à la fabrique d'acide sulfurique.

#### *Four de Spence.*

Le four de Spence est un four de MALÉTRA, dans lequel le minerai est chargé automatiquement, puis poussé sur les tablettes et retiré après le grillage de la

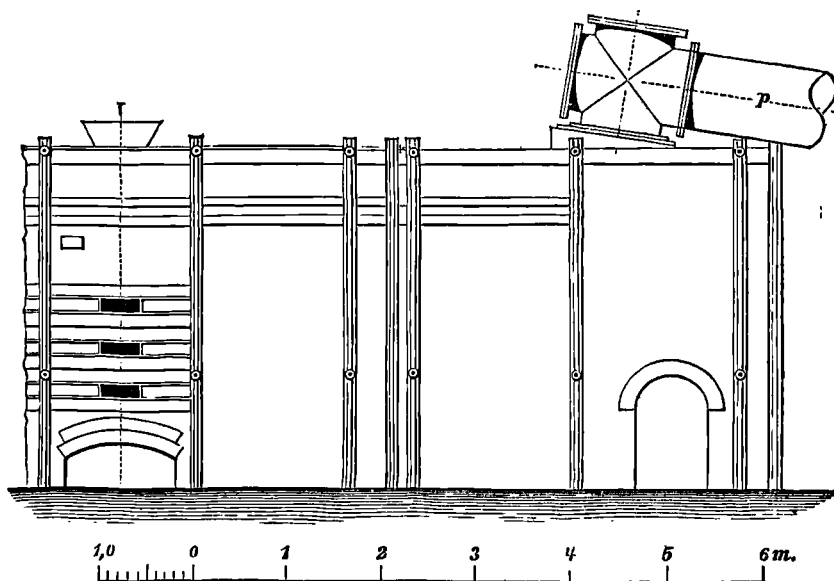


Fig. 233. — Four Malétra; vue de face d'un four et de la chambre à poussières.

chère, surtout aux États-Unis de l'Amérique du Nord, pour le grillage des pyrites cuprifères. Ce four est représenté par les figures 234 et 235.

Les tablettes *p, p* occupent toute la section horizontale du four, mais elles sont pourvues d'ouvertures, par lesquelles le minerai peut être déversé, de la tablette supérieure, sur celle qui lui est immédiatement infé-

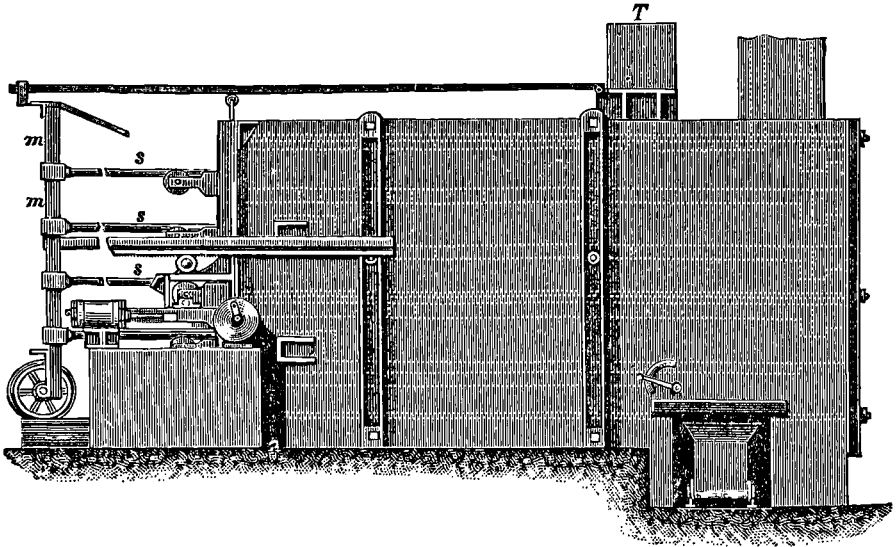


Fig. 234. — Four de Spence; vue extérieure.

rieure, puis de celle-ci sur la suivante et ainsi de suite jusqu'à la dernière. Sur chaque tablette se trouve un râble *r*, dont le manche *s* est fixé à une

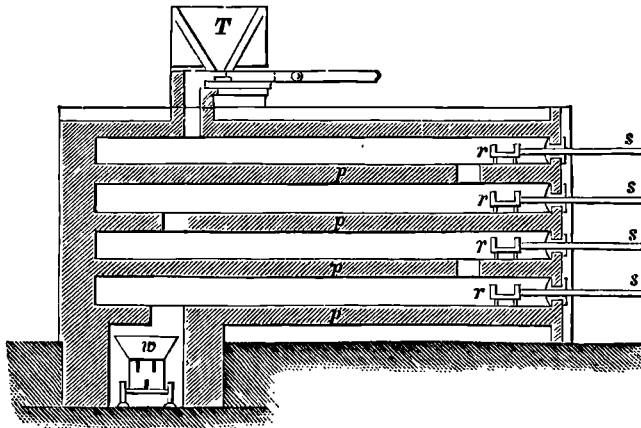


Fig. 235. — Four de Spence; coupe longitudinale.

tige verticale *m*, reposant sur des roues. Celle-ci est soumise périodiquement à un mouvement de va-et-vient par la force de la vapeur ou de l'eau, de façon à faire exécuter au râble placé dans le four un mouvement

semblable. Le chargement du minerai se fait à l'aide de la trémie T, munie d'un registre à sa partie inférieure. Ce dernier est également fixé à la tige *m*, qui dans son mouvement de recul, tire le registre et permet à une petite quantité de minerai de tomber dans le four. Le minerai est ensuite poussé peu à peu sur la tablette inférieure *p* et déversé à l'état grillé dans le wagonnet *w*, qui se trouve au-dessous du four. Celui-ci a quatre compartiments. Dans ces derniers temps, on a aussi construit des fours à cinq compartiments.

#### *Four de Herreshof.*

Le four de Herreshof est, comme celui de SPENCE, un four à tablettes, dans lequel le mouvement du minerai est produit par une force mécanique. Sa disposition est représentée par la figure 236. La cuve du four

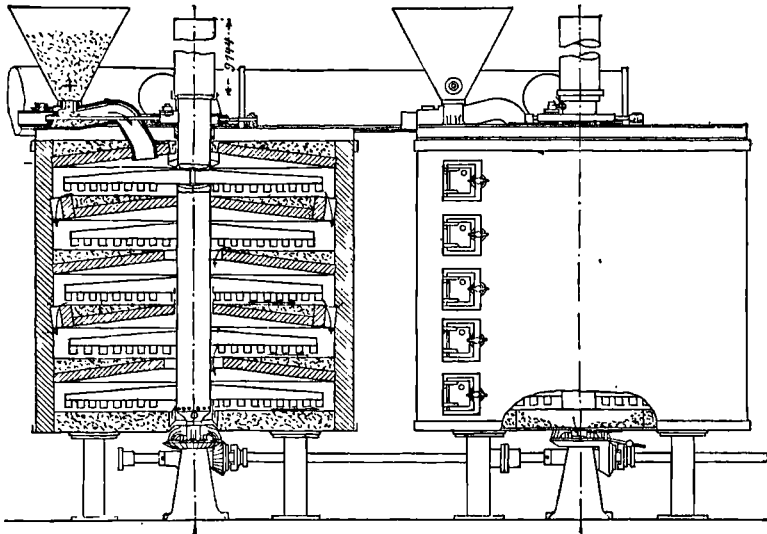


Fig. 236. — Four de Herreshof; coupe verticale et vue extérieure.

est de forme cylindrique et les tablettes sont circulaires. Ces dernières sont percées alternativement au centre et à la périphérie d'ouvertures par lesquelles le minerai circule de haut en bas. Le four est traversé par un arbre creux vertical, auquel sont adaptés des râbles correspondant aux différentes tablettes. L'air traverse l'arbre creux de bas en haut et sort à son extrémité supérieure prolongée comme une sorte de cheminée. Le minerai est poussé dans le four par le mouvement d'un piston, qui est établi au-dessous de l'orifice inférieur de la trémie de chargement. De la tablette supérieure, sur laquelle tombe d'abord le minerai, celui-ci est transporté peu à peu sur les tablettes inférieures, en tombant alternativement au centre et à la périphérie de celles-ci, et il arrive finalement à l'état grillé sur la sole du four. Les gaz dégagés par les sulfures métalliques passent, à la partie supérieure du four, dans un tuyau, qui les

conduit à la fabrique d'acide sulfurique. L'arbre vertical fait une rotation en deux minutes, tandis que le piston qui se trouve au-dessous de la trémie de chargement fait trois courses dans le même temps. Le four est muni d'une chemise en tôle d'acier rivée, qui entoure la cuve formée de briques réfractaires.

Le four de HERRSHOF est très employé aux États-Unis de l'Amérique du Nord.

#### Fours à cuve pour les fusions.

Dans ces fours, le combustible est toujours chargé avec la matière à traiter. L'air nécessaire pour sa combustion est aspiré (lorsque les charges sont facilement fusibles) ou refoulé dans les fours.

Tout four à cuve de fusion est muni dans sa partie supérieure, pour le chargement des corps à chauffer et du combustible, d'une ouverture, qui porte le nom de **gueulard**, et est, en outre, pourvu, dans la partie inférieure de ses parois latérales, d'une ou plusieurs ouvertures, dites **trous** ou **œils des tuyères**, pour l'introduction de l'air de combustion ; il possède aussi des cavités pour recevoir les masses fondues, ainsi que des orifices pour l'évacuation de ces dernières.

Le combustible brûle dans la partie inférieure du four, devant les trous des tuyères. On nomme cette partie du four, qui constitue l'espace où a lieu la combustion, l'**ouvrage** et l'on donne le nom de **creuset** à la partie qui se trouve au-dessous de l'ouvrage.

Les produits gazeux de la combustion et du chauffage sortent par le gueulard ouvert ou bien ils sont éconduits par des fentes ménagées dans la partie supérieure du four ou à l'aide de tuyaux introduits dans le gueulard ou fixés au-dessus de ce dernier.

On donne aux fours à cuve de fusion la *forme* du cylindre, lorsque de hautes températures ne sont pas nécessaires et lorsque la charge se compose de corps, qui, lors de leur descente, ne donnent pas lieu à beaucoup de frottement sur les parois du foyer. Si de hautes températures sont nécessaires, on rétrécit la partie du four où a lieu la combustion ou zone de combustion, afin que le vent puisse pénétrer jusqu'à l'axe de ce dernier et que les gaz de combustion acquièrent une grande vitesse, de façon qu'ils puissent sortir de la zone de combustion avec une haute température.

On donne à la section horizontale du four la forme du cercle, du rectangle, de l'ellipse ou du carré. On employait même autrefois des fours à section horizontale trapézoïde.

La section carrée ne présente aucun avantage sur la section circulaire, mais elle est assez usitée, à cause de la simplicité de la construction du four.

Lorsqu'on rétrécit la partie correspondant à la zone de combustion, on diminue uniformément la section horizontale du four du gueulard à l'ouvrage ou bien jusqu'à une certaine distance on la laisse la même, ou bien on l'agrandit et ensuite on termine par une partie allant en se rétrécissant uniformément jusqu'à l'ouvrage, et à laquelle on donne le nom d'**étalages**.

On diminue uniformément la section du four, lorsque la charge et les combustibles qui doivent y être introduits sont compacts; si, avec des matières volumineuses et de peu de poids, le four allait se rétrécissant vers sa partie inférieure, le frottement de la charge sur les parois rendrait irrégulière ou même arrêterait la descente des masses à l'intérieur du four.

La diminution de la section du four par en bas a l'avantage de réduire la vitesse des gaz chauds à mesure que le four s'élargit par en haut. L'action chimique des gaz sur la charge, ainsi que l'abandon de leur chaleur à la charge et au combustible sont ainsi favorisés. En outre, cette forme de four empêche la descente irrégulière de la charge et du combustible par suite du frottement, surtout avec des corps pulvérulents, et elle favorise la destruction des corps qui se sont déposés sur les parois des fours (cadmies).

On élargit les fours du gueulard aux étalages, lorsque les minerais doivent rester pendant longtemps en contact avec des gaz réducteurs. A partir de la section la plus large du four (le ventre), on fait subir à la cuve un rétrécissement jusqu'à la partie correspondant à la zone de combustion, en intercalant l'ouvrage (hauts fourneaux).

Si l'on veut produire dans le four de hautes températures sans rétrécir l'espace où a lieu la combustion ou sans réduire la section du four du gueulard vers sa partie inférieure, on lui donne une section horizontale oblongue, dont les petits côtés sont aussi courts que possible.

Pour la fusion des minerais de plomb, on a autrefois employé des fours s'élargissant au niveau de la zone de combustion. On a cependant abandonné cette forme de four, parce que ses inconvénients étaient plus grands que ses prétendus avantages. Les inconvénients étaient les suivants : température trop basse et, par suite de cela, séparation incomplète du plomb de la scorie et de la matte, vitesse trop grande du courant gazeux dans la partie inférieure plus étroite du four et, par suite de cela, abandon incomplet de la chaleur et entraînement de poussières et de vapeur de plomb. On pensait obtenir comme avantages : ménagement du revêtement du four, suppression de la volatilisation de plomb par suite de la basse température, bonne séparation de la matte plumbeuse et de la scorie, par suite de l'agrandissement de l'espace à parcourir par la masse, agrandissement résultant de l'élargissement du four.

Suivant la manière dont les masses fondues se rassemblent dans le four et en sont extraites, la partie inférieure de ce dernier offre des dispositions différentes, et on distingue, d'après cela : 1° les fours à rigole ou à œils, dans lesquels *toutes* les masses fondues se rassemblent entièrement en dehors du four; 2° les fours à creuset, dans lesquels seulement les masses *métallifères* fondues ou *toutes* les masses fondues se rassemblent à l'intérieur du four; 3° les fours à bassin ou à avant-creuset, dans lesquels les masses fondues *métallifères* se rassemblent dans un réservoir ou bassin, qui s'étend au delà de la sole du four (et dont la partie antérieure porte le nom d'*avant-creuset*), par conséquent partie en dedans, partie en dehors de ce dernier.

## Fours à rigole ou à œils.

La sole *des fours à rigole* présente une certaine inclinaison du côté où doivent s'écouler les masses fondues et celles-ci sortent par une ouverture ménagée dans la paroi antérieure du four, pour se rassembler dans

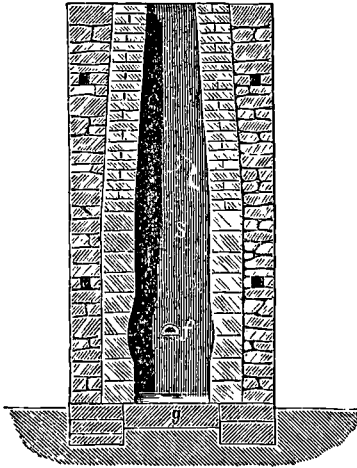


Fig. 237. — Four à lunettes pour l'extraction du cuivre brut; coupe transversale (four à rigole à œil ouvert).

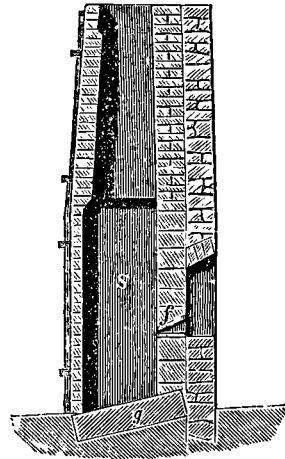


Fig. 238. — Four à lunettes; coupe verticale antéro-postérieure.

un ou plusieurs vases collecteurs, où elles se séparent suivant leur poids spécifique. On nomme *rigole* la sole inclinée du four, *œil* ou *trou de coulée* l'ouverture par laquelle s'écoulent du four les masses fondues et *bassins de coulée* les récipients placés en dehors du four, dans lesquels celles-ci sont recueillies. On laisse la scorie s'écouler par-dessus le bord de ces récipients ou bien, si ces derniers sont clos, par une ouverture ménagée à une hauteur déterminée.

Les masses métallifères sont puisées ou enlevées après solidification, lorsque les bassins de coulée sont ouverts, tandis que, si ces derniers sont fermés, elles sont écoulées par une ouverture qui se trouve dans le point le plus bas de ces récipients. On distingue les fours à rigole à **œil ouvert** et les fours à rigole à **œil couvert**. Dans les premiers, l'œil reste ouvert et les masses fondues coulent par des gouttières ouvertes dans les bassins de coulée (toujours ouverts). Dans les derniers, l'œil débouche dans un canal couvert, par lequel les masses fondues arrivent dans les récipients collecteurs ouverts ou couverts. La disposition avec œil couvert a pour but de préserver les masses fondues, même en dehors du four, de l'oxydation et du refroidissement.

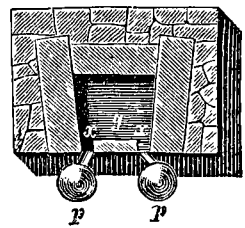


Fig. 239. — Four à lunettes; plan.

Les fours à rigole avec œil ouvert sont dans beaucoup de cas munis de deux œils, dont chacun est en communication avec un bassin de coulée. De ces fours, auxquels on donne le nom de fours à lunettes, on écoule les

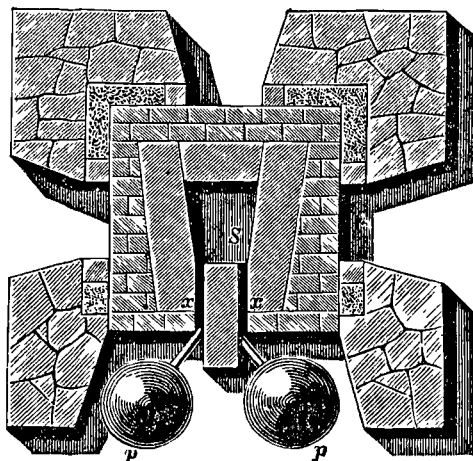


Fig. 240. — Plan d'un autre four à lunettes.

masses fondues tantôt par un œil, tantôt par l'autre. Il n'y a, par suite, jamais qu'un œil ouvert à la fois.

Les fours à rigole et à œil (*fours à poitrine fermée*) ont l'avantage de

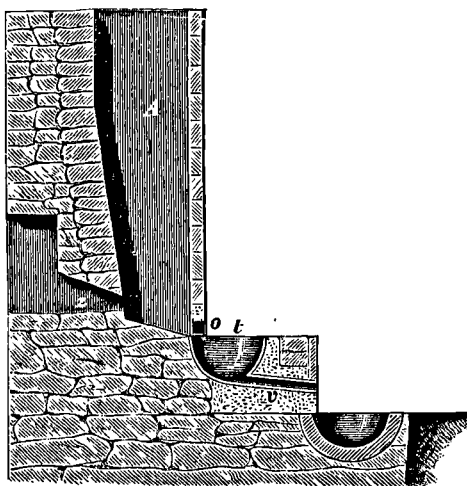


Fig. 241. — Four à rigole à un seul œil ouvert pour la fonte des minerais d'étain ; coupe verticale antéro-postérieure.

ne pas laisser perdre de chaleur et de restreindre la formation des dépôts dans leur intérieur. Ce dernier avantage résulte de ce que les masses fondues ne peuvent pas séjourner pendant longtemps dans le four, ce qui



non seulement exclut la possibilité de la production de dépôts aux dépens des masses fondues, mais encore évite la formation d'espaces vides dans le four et, par suite de cela, la chute de masses non fondues sur la sole de ce dernier. Ces vides se produisent toujours lorsque les masses fondues sont écoulées périodiquement des fours (fours à creuset, fours à bassin).

Les fours à rigole et à œil offrent cet inconvénient, que les différentes masses fondues, dans les bassins de coulée qui se trouvent en dehors des fours, se séparent moins complètement les unes des autres que cela n'aurait lieu dans l'intérieur des fours, à cause des basses températures

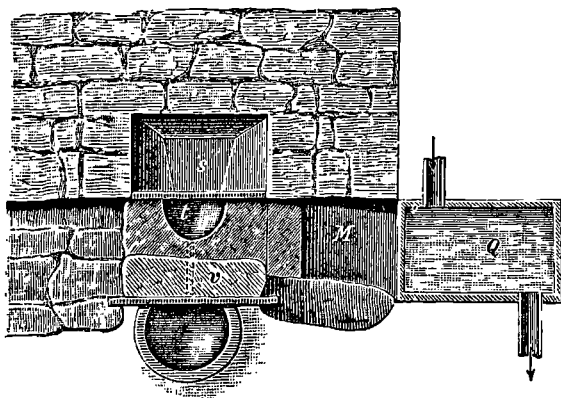


Fig. 242. — Four à rigole à un seul œil ouvert; plan.

qui règnent dans ces récipients. En outre, l'élimination des dépôts formés dans le four est difficile.

On emploie ces fours lorsqu'on veut soustraire les masses fondues aussi rapidement que possible à l'action oxydante de l'air introduit dans les fours et lorsqu'on veut éviter la formation de dépôts de fer sur la sole du four (dépôts auxquels on donne le nom de *lours*). On s'en sert surtout pour la fabrication du cuivre brut (cuivre noir). On a aussi recours aux fours à rigole et à œil pour le traitement des minerais de cuivre et des minerais d'étain, ainsi que pour la refonte du fer brut. Autrefois, ils trouvaient également emploi pour la revivification des litharges (réduction de l'oxyde de plomb).

Les figures 237 à 242 représentent des fours à rigole avec œil ouvert, les figures 243 à 247 des fours à rigole avec œil couvert.

La disposition du four à lunettes pour l'extraction du cuivre brut est mise en évidence par les figures 237, 238 et 239. *S* est la cuve, *g* la pierre de fond de celle-ci; *x, x* sont les deux œils, par lesquels s'écoulent alternativement les masses fondues; *p, p* sont les bassins de coulée communiquant avec les œils au moyen de rigoles; *f* sont les tuyères.

La figure 240 représente le plan d'un autre four à lunettes. *S* est la rigole; *x, x* sont les œils; *p, p* sont les bassins de coulée.

Un four à rigole à un seul œil ouvert est représenté par les figures 241

et 242. Ce four est employé pour la fonte des minerais d'étain. *A* est la cuve, *s* la rigole, *o* l'œil ouvert, *t* le bassin de coulée, *v* un conduit par lequel l'étain peut être écoulé dans un autre récipient. La scorie passe par-dessus le bord du bassin de coulée *t*, coule sur la plaque de fer inclinée *M* et tombe dans le bassin *Q*, rempli d'eau. *z* est l'ouverture pour le passage de la tuyère.

Aux fours à rigole à œil couvert, appartiennent l'ancien four à revivifier les litharges, le cubilot de KRIGAR, ainsi que différents fours pour la fonte des minerais de cuivre.

L'ancien four à revivifier les litharges, qui maintenant n'est plus que très rarement employé, est représenté par les figures 243 et 244. *S* est la cuve, *w* la rigole, *c*

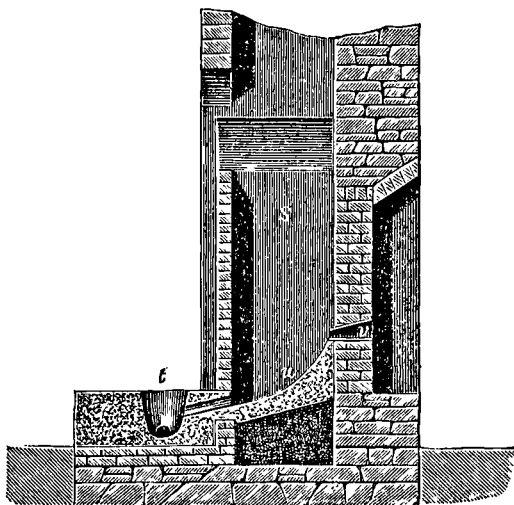


Fig. 243. — Four à revivifier les litharges; coupe verticale antéro-postérieure (four à rigole à œil couvert).

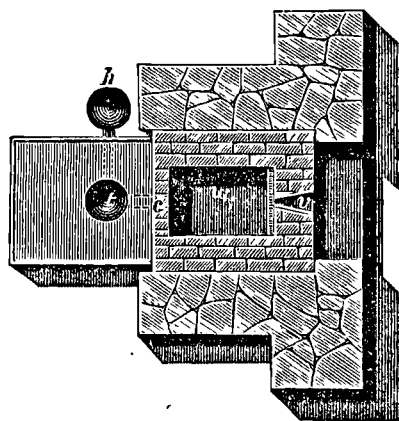


Fig. 244. — Four à revivifier les litharges; plan.

l'œil couvert, *t* le bassin de coulée, qui est mis en communication avec l'autre bassin *h*. La scorie coule par-dessus le bord du bassin *t*, tandis que le plomb est évacué de ce dernier dans le bassin *h*; *v* est la tuyère.

La rigole et le bassin de coulée sont en brasque.

Dans le cubilot de Krigar (fig. 245), employé pour la fusion de la fonte, le fer et les scories coulent par l'œil couvert *b* dans le bassin de réception fermé, qui se trouve devant le four. La scorie peut être écoulée de ce bassin par les ouvertures *c*, *c*, placées à différentes hauteurs; le fer est évacué de temps en temps par l'ouverture *e*, qui se trouve dans le point le plus bas du bassin. Les ouvertures pour les tuyères sont remplacées par trois fentes *a*, *a* destinées à l'introduction du vent. Le four repose sur des colonnes; sa sole est mobile et disposée de façon à pouvoir s'ouvrir de haut en bas, comme un clapet. Un regard *d*, qui se trouve dans la partie supérieure du bassin de réception, permet d'observer le niveau des masses liquides.

Le four à water-jacket (*four à chemise d'eau*) avec œil couvert, employé

aux États-Unis de l'Amérique du Nord pour la fonte des minerais de cuivre, est représenté par les figures 246 et 247. La cuve de ce four est formée de parois métalliques creuses refroidies par de l'eau, *v* est la sole du four, *o* l'œil couvert, *T* le bassin mobile sur roues, dans lequel sont

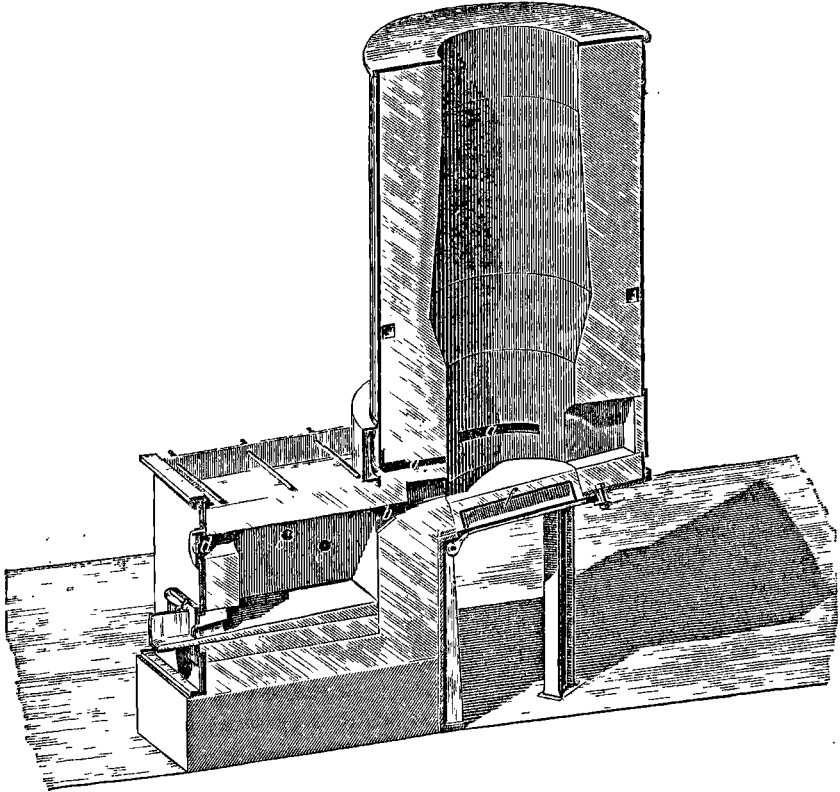


Fig. 245. — Cubilot de Krigar (four à rigole à œil couvert).

raques les masses fondues. De ce récipient, la scorie s'écoule par l'ouverture *p*, tandis que les masses métallifères sont évacuées de temps en temps par l'ouverture *m*.

L'eau de réfrigération arrive par le tube *r* dans la paroi creuse du four et en sort par le tube *y*. De la boîte à vent *n*, le vent pénètre dans le four par les orifices *u, u*. Les gaz sont éconduits par le canal *K*.

#### Fours à creuset.

Dans les fours à creuset, les masses fondues se rassemblent entièrement à l'intérieur du four, dans la partie la plus basse de ce dernier. Cette partie du four, à laquelle on donne le nom de *creuset* est excavée et se compose de brasque ou bien elle possède une sole plane faite de briques réfractaires. On distingue les *fours à creuset à œil* et les *fours à creuset*

*fermé*. Dans les fours à creuset à œil, les masses métallifères se rassemblent dans le creuset, tandis que les scories s'écoulent par une ou plusieurs ouvertures ménagées dans la partie supérieure du creuset (les œils). Dans les fours à haute température (hauts fourneaux à fer), les œils sont formés par des tubes métalliques à double paroi, qui sont refroidis avec de l'eau. Ces œils portent le nom de *tuyères à scories*.

Dans les fours à creuset fermé, les masses métallifères et les scories se rassemblent dans le creuset et celles-ci sont éliminées en même temps que celles-là.

L'élimination des masses fondues a lieu soit périodiquement, soit sans interruption au moyen du siphon d'Arent.

D'après la *méthode d'élimination périodique*, qui est la *méthode ordinaire*, on procède de la manière suivante : Dans le point le plus bas du creuset rempli des masses métallifères ou, dans le cas de fours à creuset fermés, des masses métallifères et de la scorie,

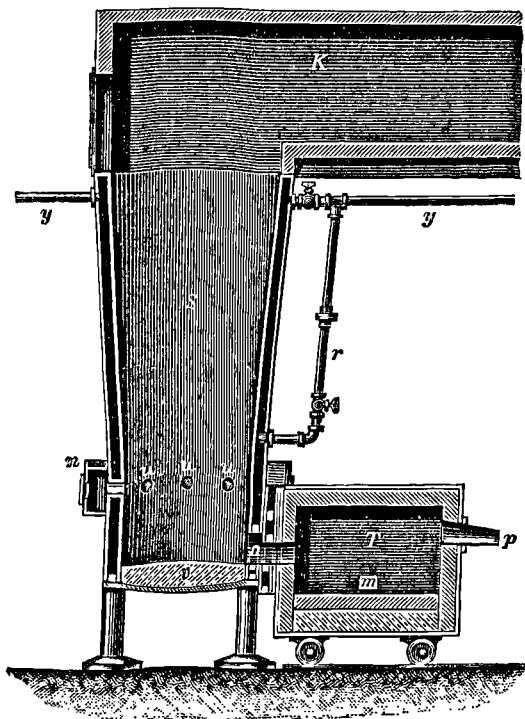


Fig. 246.

Fig. 246. — Four à water-jacket pour la fonte des minerais de cuivre (États-Unis); coupe verticale (four à rigole à œil couvert).

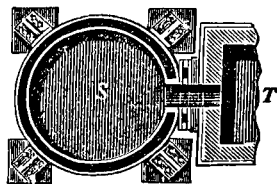


Fig. 247.

Fig. 247. — Four à water-jacket; coupe horizontale.

en pratique, à l'aide d'une tige de fer, une ouverture, dite *trou de coulée*, par laquelle on laisse sortir les masses liquides. (On dit alors qu'on *perce* le métal ou la scorie.) Ces masses coulent par un canal couvert (le canal de coulée) dans un récipient (le bassin de réception) ou bien elles sont amenées du trou de coulée dans les moules, à l'aide de gouttières ouvertes. Dès que le creuset est vide, on referme le trou de coulée avec un tampon d'argile ou de brasque.

L'élimination continue des masses métallifères fondues contenues dans le creuset n'est jusqu'à présent usitée que dans l'extraction du plomb. Dans ce cas, le creuset, qui doit toujours être maintenu rempli de plomb jus-

qu'à une certaine hauteur, communique au moyen d'un tube avec un récipient établi en dehors du four. La surface du plomb dans ce récipient s'établit au même niveau que la surface du plomb dans le creuset. On

puise le plomb dans le récipient, ou bien on le laisse couler de celui-ci dans un autre bassin de réception.

Les fours à creuset permettent une bonne utilisation de la chaleur et une bonne séparation des différentes masses fondues les unes des autres dans le four même. Mais ils ont un inconvénient, qui consiste en ce que, lors de l'évacuation périodique des masses fondues du creuset, il se produit un espace vide, dans lequel tombent, de la partie du four qui se trouve au-dessus, des masses non fondues, lesquelles donnent lieu à la formation de dépôts. On peut éviter cet inconvénient en laissant toujours

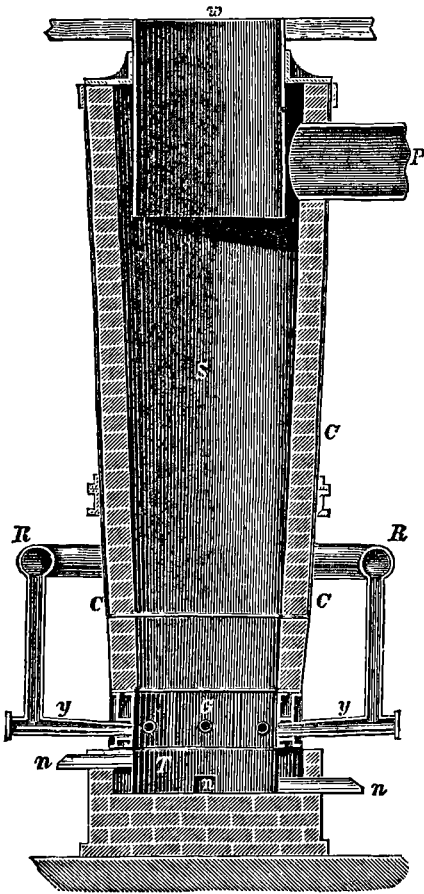


Fig. 248. — Four à plomb de Freiberg; coupe verticale (four à creuset).

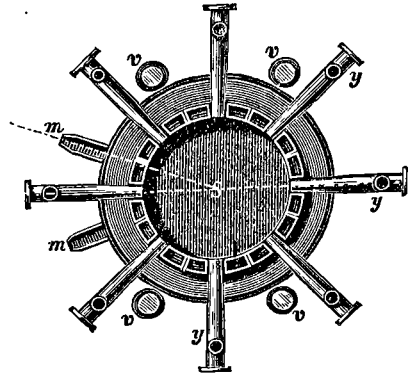


Fig. 249. — Four à plomb de Freiberg; coupe horizontale.

une certaine quantité de masses fondues dans le creuset. Avec l'évacuation continue des masses fondues, on fait disparaître l'inconvénient en question en ne puisant le plomb dans le bassin de réception ou en ne l'en laissant s'écouler que jusqu'à un niveau déterminé.

On peut éviter ou restreindre la formation de dépôts, dont l'élimination présente des difficultés, en donnant au lit de fusion une composition convenable et en soumettant le vent à une pression appropriée ou le réchauffant.

On a recours aux fours à creuset pour la plupart des opérations de fusion au four à cuve.

Comme exemples de fours à creuset à œil, nous décrirons le four à plomb de Freiberg et un four à plomb avec siphon d'ARENT, et comme type de fours à creuset fermé, nous mentionnerons le fourneau à loupes.

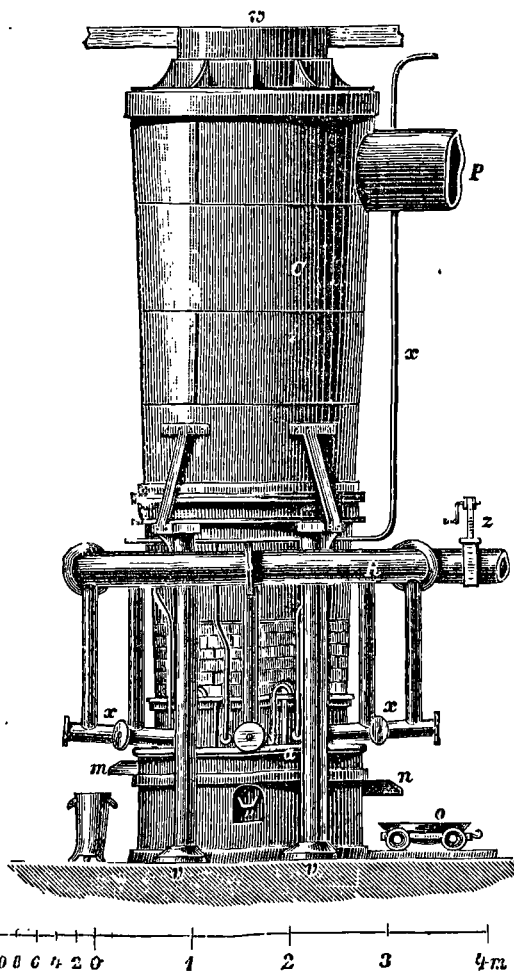


Fig. 250.

Fig. 250. — Four à plomb de Freiberg; vue extérieure.

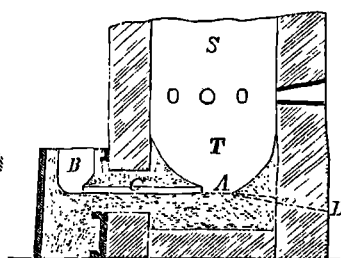


Fig. 251.

Fig. 251. — Four à plomb avec siphon d'Arent (four à creuset).

tablit dans ce dernier à la même hauteur que dans le creuset T et il est puisé dans le bassin B.

Dans les hauts fourneaux, dont la partie inférieure est disposée comme celle des fours à creuset à œil, l'œil pour l'écoulement du laitier est formé (afin de préserver la maçonnerie de l'action corrosive du laitier) d'un tube court à paroi creuse, refroidi par de l'eau et désigné sous le

nom de **tuyère à scorie de Lürmann**. Comme le montre la figure 252, cette tuyère est fixée dans une boîte également refroidie par de l'eau.

Le **fourneau à loupes** (haut fourneau à fer dont la partie inférieure est disposée comme celle d'un four à creuset fermé) est représenté par la figure 253. S est la cuve ; f, f sont des voûtes donnant accès aux tuyères ; G est une ouverture qui est

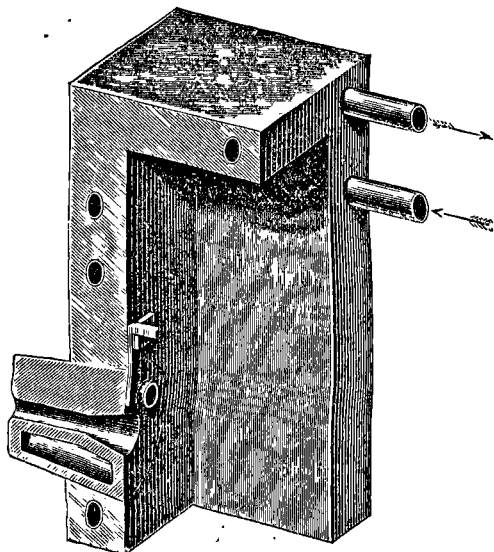


Fig. 252.

Fig. 252. — Tuyère à scorie de Lürmann.

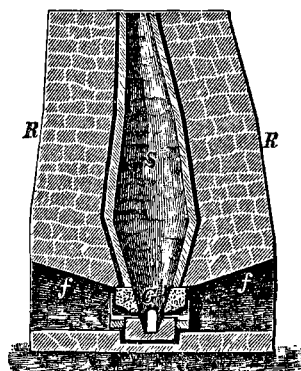


Fig. 253.

Fig. 253. — Fourneau à loupes (four à creuset).

murée pendant le travail. Dans le point le plus bas de celle-ci, est ménagé le trou de coulée fermé avec de la brasque et par lequel le fer et le laitier sont extraits périodiquement du four. Actuellement, ce four n'est plus employé.

#### Fours à bassin ou à avant-creuset.

Dans les **fours à bassin**, les masses fondues se rassemblent dans un récipient qui se trouve partie à l'intérieur de la cuve du four, partie en dehors de celle-ci. On donne à ce récipient le nom de *bassin* et celui d'*avant-creuset* à la partie de ce dernier située en dehors de la cuve du four. Les masses métallifères restent dans le bassin, tandis que la scorie sort de l'avant-creuset dès que celui-ci est plein et s'écoule par une gouttière inclinée, le *canal des scories*, sur le sol de l'usine ou dans des récipients particuliers.

Dès que le bassin est rempli de masses métallifères fondues, celles-ci sont percées ou puisées dans l'avant-creuset. (Le siphon d'ARENET fonctionnant automatiquement pourrait aussi être adapté à ces sortes de fours.)

La percée des masses métallifères est le procédé le plus fréquemment en usage pour leur extraction du bassin, et on l'effectue de la même manière que dans les four à creuset, en pratiquant une ouverture dans la

partie la plus basse du bassin. On n'a que rarement recours au puisage des masses métallifères dans l'avant-creuset (par exemple lors de la fabrication d'objets moulés avec la fonte sortant directement du haut fourneau).

Le *four de RASCHETTE* est une espèce particulière de four à bassin. Il possède deux bassins, qui se trouvent sur deux côtés opposés et qui, adossés au milieu de la sole, forment un chevalet.

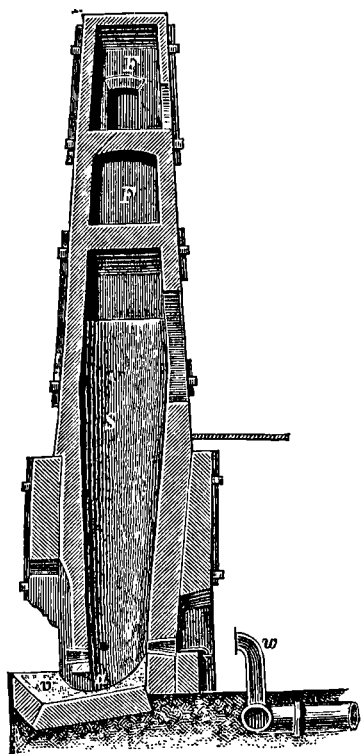


Fig. 254. — Ancien four à plomb du Harz Supérieur; coupe verticale d'avant en arrière (four à bassin).

Les fours à bassin ont sur les fours à creuset et à rigole l'avantage de permettre d'enlever facilement les dépôts de leur partie la plus profonde, car il est possible de pénétrer sans peine, par l'avant-creuset, à l'aide d'instruments convenables poussés sous la paroi du four, dans l'intérieur de ce dernier.

Mais comme une partie du récipient où se rassemblent les masses fondues se trouve hors du four, la chaleur est moins bien retenue dans la partie inférieure de ce dernier que dans les fours à creuset et à rigole, de sorte que la séparation nette des différentes masses fondues est rendue difficile. On peut jusqu'à un certain degré faire disparaître cet inconvénient en couvrant l'avant-creuset avec du poussier de charbon ou d'autres corps mauvais conducteurs de la chaleur.

Un inconvénient, que les fours à bassin ont de commun avec les fours à creuset, est la production d'espaces vides dans leur partie inférieure après l'écoulement des masses métallifères contenues dans le bassin.

On emploie les fours à bassin pour la fonte des charges qui donnent lieu à la formation de masses solidifiées dans la partie inférieure du four et par suite de cela rendent nécessaire un fréquent nettoyage de celle-ci pendant le travail.

Ils étaient autrefois fréquemment employés pour la fabrication de la fonte, mais actuellement ils sont remplacés dans la plupart des localités par les fours à creuset.

Dans un grand nombre d'usines, les fours à bassin sont aussi employés pour des raisons locales (longue habitude des ouvriers dans la conduite de ces fours).

Comme exemples des **fours à bassin**, nous citerons les anciens fours à plomb du Harz Supérieur, les anciens fours à cuivre suédois, le four de RASCHETTE et les anciens hauts fourneaux.



L'ancien four à plomb du Harz Supérieur est représenté par les figures 254 et 255. S est la cuve, a le bassin, v l'avant-creuset, m le bas-

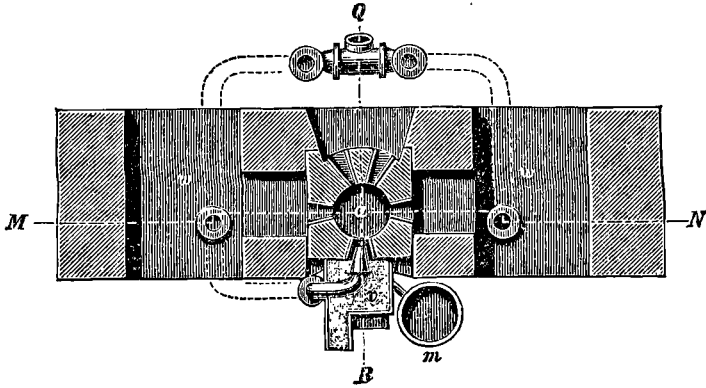


Fig. 255. — Ancien four du Harz Supérieur: coupe horizontale au plan des tuyères. sin de réception des masses métallifères; F, F sont des chambres à pou-

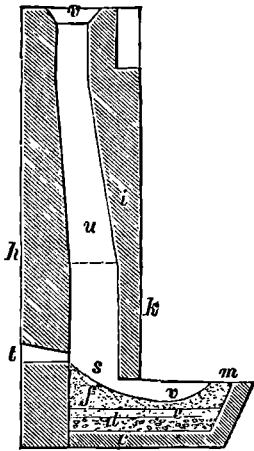


Fig. 256.



Fig. 257.

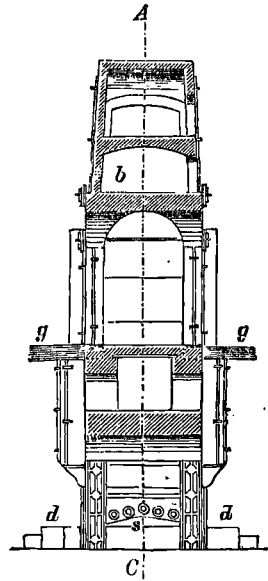


Fig. 258.

Fig. 256. — Ancien four à cuivre suédois ou four à sulu; coupe verticale d'avant en arrière (four à bassin).

Fig. 257. — Ancien four à cuivre suédois; coupe transversale.

Fig. 258. — Four Raschette; coupe transversale (four à bassin).

sières; *w* est une conduite de vent. Le bassin et l'avant-creuset sont en brasque.

Les figures 256 et 257 représentent l'ancien *four à cuivre suédois* ou *four à sulu*, *u* est la cuve, *s* le bassin, *v* l'avant-creuset; *t, t* sont les ouvertures pour l'introduction du vent (tuyères). Le bassin est en brasque (f).

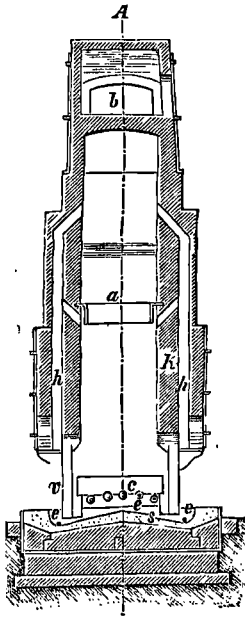


Fig. 259.

Fig. 259. — Four Raschette; coupe verticale à travers les deux bassins.

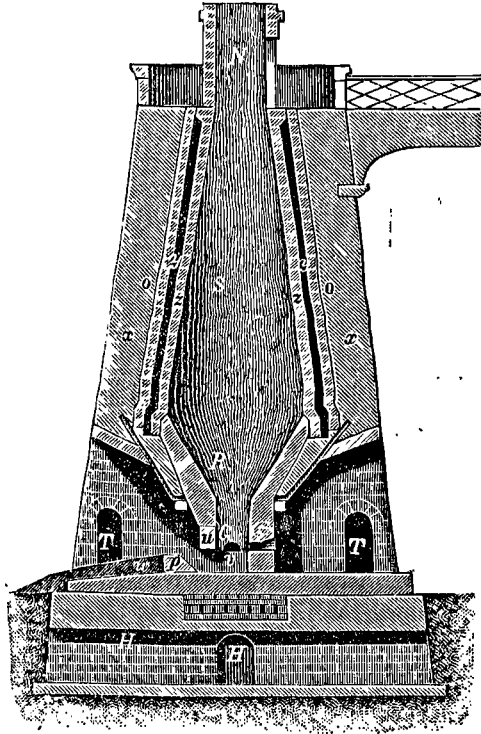


Fig. 260.

Fig. 260. — Ancien haut fourneau à fer (four à bassin).

Au-dessous de la brasque se trouve une couche d'argile *e* et au-dessous de celle-ci une couche de scorie *d*.

Dans le *four de RASCHETTE* (fig. 258 et 259), *e, e* sont les deux bassins (leurs trous de coulée sont indiqués par des points noirs); *ss* est la sole du four en forme de chevalet. Le bassin est en brasque.

Dans l'*ancien haut fourneau à fer*, que représente les figures 260, *S* est la cuve, *R* sont les étalages; *G* est l'ouvrage, *v* le bassin, *p* la dame limitant l'avant-creuset et par laquelle coule la scorie; *u* est la *tympe*. Celle-ci est armée sur le côté antérieur d'une plaque de fer, dite *plaque de tympe* et sur le côté inférieur d'une forte barre de fer, dite *fer de tympe*.

#### Structure des fours à cuve de fusion.

La partie intérieure des fours à cuve de fusion consiste en une *maçon-*

*nerie* (qui inférieurement peut être en matériaux réfractaires) ou bien elle est formée par des *parois métalliques refroidies*.

Si elle consiste en une maçonnerie, on la nomme **chemise intérieure**. Les parties de celles-ci les plus exposées à la chaleur sont fréquemment formées de parois métalliques refroidies, qu'on nomme **anneau de l'ouvrage**. Ces parois se recouvrent pendant la fusion d'une couche mince de masses solidifiées, qui les empêche d'être endommagées.

La chemise intérieure, si elle n'est pas laissée partiellement libre en vue du refroidissement, est entourée d'une enveloppe, ou bien elle est entièrement libre. L'enveloppe est en maçonnerie ou en fer. La chemise intérieure entièrement libre est maintenue au moyen d'anneaux en fer ou de plaques de fer et de tirants.

L'enveloppe en maçonnerie qui entoure la chemise intérieure porte le nom de **muraillement**. Celui-ci maintient le four et préserve sa partie intérieure du refroidissement. Mais, avec les fours dans lesquels de hautes températures sont nécessaires, la présence du muraillement donne lieu fréquemment à un échauffement trop intense, qui entraîne la destruction de la chemise intérieure. Les fours sans muraillement ont l'inconvénient de laisser perdre une certaine quantité de chaleur. Mais cet inconvénient est au moins compensé par une plus longue durée de la chemise intérieure. En outre, l'absence du muraillement rend beaucoup plus facilement accessible la partie inférieure du four. C'est pour cela que depuis quelque temps on ne munit que rarement les fours d'un épais muraillement. On ne donne à ce dernier que l'épaisseur juste suffisante pour qu'il soit en état de maintenir la chemise intérieure, ou bien on le remplace par un manteau en fer, ou bien encore on n'emploie ni muraillement, ni manteau de fer et on maintient la chemise intérieure entièrement libre au moyen d'anneaux en fer ou de tiges et de plaques de fer.

Dans les fours avec muraillement, celui-ci doit également être maintenu au moyen d'ancrages, d'anneaux ou de manteaux. Le muraillement est séparé de la chemise intérieure par un petit intervalle, dit **revêtement intermédiaire**.

Cet intervalle, qui est vide ou rempli avec des corps peu tassés conduisant mal la chaleur (cendre, scories, sable, fragments de briques), a pour but d'offrir un espace suffisant à la dilatation de la chemise intérieure sous l'influence de la chaleur. On donne le nom de *remplissage* au contenu du revêtement intermédiaire. Afin d'éconduire l'humidité du four, on ménage des canaux dans le muraillement (canaux d'assèchement ou d'humidité). Lorsque l'ouvrage est laissé libre en vue de son refroidissement, le muraillement repose sur des piliers et des arcs ou sur une couronne ou un cadre en fer supportés par des colonnes.

Dans les fours, dont la chemise intérieure est munie d'une *enveloppe en fer*, à la place du muraillement, on laisse également entre l'enveloppe et la chemise intérieure un petit intervalle qui permet une certaine dilatation de cette dernière. Ce n'est que lorsque la chemise intérieure est libre que les anneaux ou les plaques destinées à la soutenir s'y appliquent immédiatement. Dans ces deux sortes de fours, le manteau ou la partie supérieure de la chemise intérieure reposent également sur des couronnes ou des cadres supportés par des colonnes.

Lorsque la *paroi interne tout entière des fours est en métal*, la paroi extérieure est également formée de la même matière. Ces parois constituent un espace creux fermé, dans lequel circule de l'eau. Celle-ci pénètre dans la partie inférieure de l'espace creux et sort à sa partie supérieure. Pendant le travail, l'espace creux doit être entièrement rempli d'eau.

De pareils fours sont employés pour la refonte des fers bruts, ainsi que pour l'extraction du cuivre et du plomb. Le refroidissement des parois du four n'a aucune influence nuisible sur la marche de la fusion et la consommation de combustible. Par suite de l'absorption de chaleur par les parois du four, il ne s'établit dans le voisinage immédiat de celles-ci qu'une zone froide et étroite, qui ne peut pas s'étendre bien loin dans l'intérieur du four, parce que les gaz qui séparent la zone froide de la zone chaude de l'intérieur du four ne possèdent qu'une très faible conductibilité calorifique. L'influence du refroidissement des parois du four doit par suite être d'autant plus faible que le diamètre de ce dernier est plus grand. De pareils fours reposent souvent sur des colonnes en fer.

Dans nombre de cas, les fours à cuve de fusion sont en communication avec un récipient qui se trouve en dehors de leur cuve et auquel on donne le nom d'*avant-four*.

Dans les fours à bassin, l'*avant-four* comprend l'*avant-creuset*, la voie d'écoulement pour les scories, dite voie des scories et le canal de coulée, par lequel les masses métalliques percées s'écoulent dans le bassin de réception, dans les moules ou sur le sol de l'usine. Dans les fours à rigole, l'*avant-four* contient les récipients où se rassemblent les masses fondues et la voie d'écoulement pour les scories. Dans quelques cas, l'*avant-four* des fours de cette espèce repose sur des roues (par exemple dans les fours américains employés pour la fonte des minerais de cuivre).

Dans les fours à creuset, l'*avant-four* (s'il existe) renferme la voie d'écoulement pour les scories, ainsi que le canal de coulée. La masse de l'*avant-four* se compose de brasque, de sable de scories, d'argile limoneuse, d'argile réfractaire ou de briques réfractaires et elle est ordinairement soutenue par des plaques de fonte.

Dans les fours dont la section horizontale est limitée par des lignes droites, on distingue, si l'écoulement des masses fondues n'a lieu que d'un côté, la *paroi antérieure* ou *mur de face*, c'est-à-dire la paroi vers laquelle coulent les masses fondues, la *paroi postérieure*, c'est-à-dire la paroi du four opposée à la paroi antérieure, et les deux *parois latérales*.

On nomme *poitrine* la partie inférieure de la paroi antérieure. Si cette partie descend entièrement dans la masse de la sole, de façon que le four soit fermé, on appelle les fours ainsi disposés *fours à poitrine fermée*; si, au contraire, la poitrine ne touche pas la masse de la sole proprement dite, de façon que les masses fondues puissent sortir du four en passant au-dessous de la poitrine, comme cela a lieu dans les fours à bassin, on donne aux fours ainsi disposés le nom de *fours à poitrine ouverte*.

Les désignations relatives aux parois des fours que nous venons d'indiquer et qui étaient appliquées aux fours de fusion autrefois en usage, ne peuvent être employées ni pour les fours à section horizontale limitée par des lignes droites, et dans lesquels l'*écoulement des masses fondues a*

*lieu de plusieurs côtés* (comme, par exemple, le four de RASCHETTE), ni pour les *fours à section horizontale circulaire*.

Mais les désignations de poitrine fermée et de poitrine ouverte peuvent être maintenues pour tous les fours à cuve de fusion, suivant que toute la partie de la paroi du four qui se trouve au-dessus de la sole pénètre dans la masse de celle-ci ou qu'elle ne la touche pas dans certains points.

#### *Hauteur des fours à cuve de fusion.*

D'après la hauteur, on distingue les fours à cuve de fusion en **fours à manche** ou **bas fourneaux**, dont la hauteur va jusqu'à 2 mètres, **demi-hauts fourneaux**, dont la hauteur s'élève à 2-7 mètres, et **hauts fourneaux**, dont la hauteur dépasse 7 mètres. La plus grande hauteur qui jusqu'à présent ait été donnée à ces derniers s'élève à 32 mètres.

Plus les fours sont hauts, mieux la chaleur est utilisée (les gaz chauds dans leur ascension cédant leur chaleur à la charge et au combustible), mieux les gaz peuvent agir chimiquement sur la charge, moins sont grandes les pertes en métaux par volatilisation, parce que les vapeurs métalliques se précipitent dans les parties supérieures de la colonne de charge, plus enfin sont grandes les quantités de charge qui peuvent y être fondues, la largeur des fours étant la même. Mais, d'autre part, il faut aussi augmenter, avec la hauteur des fours, la pression de l'air de combustion.

On emploie des *hauts fourneaux* pour fabrication du fer brut et aussi dans beaucoup de cas pour la fonte des minerais de cuivre et de plomb. On se sert de *demi-hauts fourneaux* pour l'extraction de métaux facilement réductibles, ainsi que pour la préparation des mattes et des speiss et pour la refonte de métaux. Lors de l'extraction de métaux facilement réductibles et de la préparation de mattes et de speiss, les oxydes du fer doivent être scorifiés. Lorsqu'on se sert de hauts fourneaux, ces oxydes doivent être réduits en fer. On emploie aussi ces fours lorsqu'on a affaire à des corps métallifères et à des combustibles se laissant écraser facilement, ainsi qu'à des corps métallifères pulvérulents. Si, dans ces cas, on se servait de hauts fourneaux, le vent ne se disséminerait pas uniformément dans la colonne de charge. Les *fours à manche* ne sont plus employés à cause de leurs inconvénients, qui consistent en une grande dépense de combustible, de grandes pertes de métal par volatilisation et un faible rendement.

La présence d'une grande quantité de zinc dans la charge impose une limite à la hauteur des fours, parce qu'il n'est pas possible de scorifier la majeure partie de ce métal. Le zinc non scorifié est réduit de son oxyde à l'état de métal, il monte dans le four sous forme de vapeurs et il est oxydé par l'acide carbonique des gaz du four ou, s'il arrive au contact d'acide sulfureux et de charbons incandescents ou de vapeurs d'acide sulfurique, il est transformé en sulfure. Le sulfure et l'oxyde de zinc se déposent dans les parties froides du four sur les parois de celui-ci, diminuent la capacité du four et finissent par l'obstruer. Dans les fours de faible hauteur, les corps en question ont moins d'occasion de se déposer, parce qu'ils sont entraînés par le courant gazeux.

La hauteur convenable à adopter pour les fours doit être déterminée dans chaque cas particulier; il faut alors considérer la nature du procédé de séparation et la température qu'il nécessite, la quantité des corps qui doivent être traités dans le four en un temps déterminé, la manière dont le combustible sera le mieux utilisé, l'état de cohésion de la charge, la fusibilité des corps séparés et le rendement en métal à obtenir, lequel devra être aussi élevé que possible.

#### *Introduction du vent dans le four.*

Le vent est aspiré dans le four, ou y est refoulé. Dans le premier cas, on emploie des cheminées ou d'autres dispositifs d'aspiration, dans le second, des souffleries agissant avec pression. Dans les deux cas, le vent pénètre dans le four par des ouvertures circulaires ménagées dans ses parois latérales ou par des fentes. Si le four est en maçonnerie, on place ordinairement dans les ouvertures circulaires des tubes particuliers en métal, qui sont à double paroi et refroidis par de l'eau. On donne à ces tubes le nom de tuyères. Si la cuve du four est composée entièrement ou seulement dans sa partie inférieure de parois métalliques creuses refroidies, de simples tubes traversant les parois refroidies, et se trouvant par suite entourés d'eau, remplacent les tuyères. Dans des cas rares, on substitue à celles-ci des tubes en terre.

On emploie des *fentes* pour l'introduction du vent, lorsque celui-ci ne doit avoir qu'une faible pression. Les fentes consistent en plusieurs ouvertures étroites traversant les parois latérales du four ou bien elles entourent complètement ce dernier. Dans le dernier cas, on rend mobile la partie inférieure du four, de façon qu'en élevant ou abaissant cette partie, on puisse rétrécir ou élargir la fente (four de HERBERTZ). La partie supérieure du four doit, avec de pareilles fentes annulaires, être soutenue par des supports, afin d'en assurer la stabilité.

Les ouvertures d'introduction du vent sont généralement placées à la même hauteur au-dessus de la sole, afin de concentrer la chaleur dans une zone déterminée. Dans beaucoup de cas, on a aussi établi deux séries superposées de tuyères et obtenu ainsi une diminution des frais de fusion.

La hauteur des tuyères ou des ouvertures d'introduction du vent au-dessus de la sole doit être déterminée dans chaque cas particulier, en ayant égard au procédé de séparation et à la nature de la charge et des produits de la fusion. Si elle est trop grande, la zone de fusion remonte et les masses fondues se rassemblant sur la sole sont exposées à plus de refroidissement que lorsque les tuyères sont à une hauteur moindre. C'est pour cela que les tuyères ou les ouvertures d'introduction du vent doivent être placées d'autant plus bas que les masses qui se rassemblent sur la sole du four sont plus difficilement fusibles. Si la hauteur au-dessus de la sole des ouvertures en question est trop faible, le vent soufflé exerce sur les masses fondues une action oxydante énergique.

Le nombre des tuyères dépend du diamètre de l'ouvrage du four. Avec une seule tuyère, il n'est pas possible d'obtenir un chauffage uniforme des masses à traiter. Une tuyère conique n'est employée que rarement et

alors pour des fours avec ouvrage à section horizontale carrée ou rectangulaire, lorsque la largeur de ce dernier reste au-dessous de 50 centimètres. Pour les hauts fourneaux à fer à bassin, on place dans ce cas la tuyère dans l'une des parois latérales, afin que le vent, qui ici doit être employé sous une forte pression, ne puisse pas sortir par le bassin. Dans les fours en usage pour l'extraction du plomb, du cuivre et de l'argent on place, au contraire, la tuyère dans la paroi postérieure, parce que le vent n'est soufflé dans ces fours que sous une faible pression.

Pour les fours dont la largeur de l'ouvrage dépasse 50 centimètres, on emploie plusieurs tuyères. Lorsque l'ouvrage a une section horizontale circulaire, celles-ci doivent être réparties sur la périphérie de façon qu'elles laissent entre elles des intervalles égaux. Le diamètre de l'ouvrage des fours dépasse rarement 2,5 mètres, ce n'est qu'exceptionnellement que dans des hauts fourneaux à fer on lui a donné jusqu'à 3,20 mètres de longueur. Le nombre des tuyères d'un four va jusqu'à vingt (nouveaux fours de Freiberg).

Dans les fours à section horizontale circulaire, avec ouvrage ayant plus de 2,5 mètres de diamètre, le vent ne peut plus pénétrer convenablement jusqu'à l'axe du four, à moins qu'on n'emploie une haute pression, qui toutefois ne peut pas convenir pour toutes les opérations métallurgiques. Il se produit alors dans le milieu du four ce qu'on appelle un *noyau* ou *point mort*. Pour éviter cet inconvénient, on emploie, au lieu des fours à section horizontale circulaire, des fours étroits à section horizontale rectangulaire et l'on place les tuyères sur les longs côtés. Plus les côtés courts du rectangle sont petits, mieux le vent agit. Si les côtés courts n'ont pas plus de 70 centimètres, une seule série de tuyères dans la paroi postérieure du four est suffisante; autrement, on place des tuyères sur les deux côtés longs du four, et souvent aussi sur les côtés courts.

On établit les tuyères sur les parois opposées, de façon que les jets de vent ne se rencontrent pas, mais se dirigent parallèlement les uns aux autres, parce que sans cela il se produirait un arrêt des courants de vent. Ce n'est qu'avec des fours larges, dans lesquels un pareil arrêt n'est pas à craindre, que l'on place les tuyères vis-à-vis les unes des autres.

En général, l'extrémité interne des tuyères ne va pas au delà de la paroi du four. Mais, si l'on veut, pour ménager celle-ci, transporter le maximum de la chaleur dans le milieu de ce dernier, on fait déborder les tuyères au delà des parois.

## EXEMPLES DES DIFFÉRENTES SORTES DE FOURS A CUVE DE FUSION

### 1. — Fours à cuve à tirage.

On distingue les fours à cuve à tirage (fours aspirateurs) dans lesquels l'introduction du vent a lieu au moyen du tirage d'une cheminée et ceux dans lesquels le vent est introduit au moyen d'autres dispositifs aspirateurs (extracteurs).

On nomme fours de la première espèce **fours à cuve atmosphériques** ou à tirage naturel.

Ces fours ne sont employés que pour les charges facilement fusibles, dans les contrées où l'on manque de combustible pour le chauffage de chaudières à vapeur destinées à actionner des machines soufflantes et de force hydraulique pour le même but. Ils étaient autrefois très en usage dans la Sierra de Carthagène pour la fonte de minerais de plomb, mais actuellement ils sont presque complètement remplacés par des fours à soufflerie. Ces fours sont, au moyen de conduits s'élevant sur le versant de la montagne, mis en communication avec de hautes cheminées. Le vent pénètre

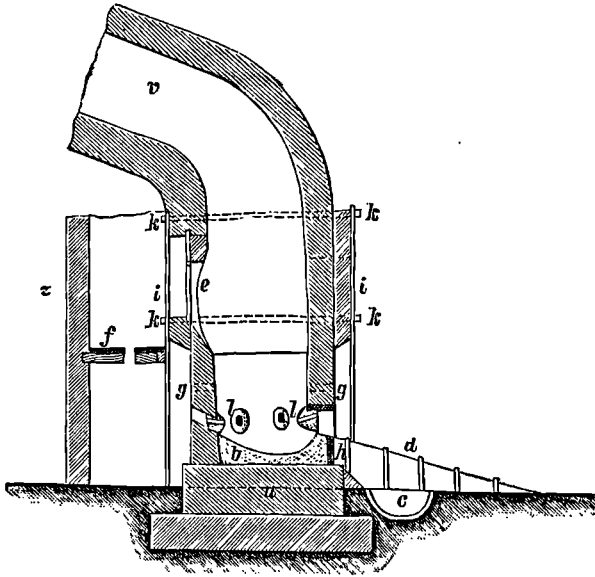


Fig. 261. — Four à cuve à tirage naturel (Sierra de Carthagène).

dans le four par des tuyères. Comme il n'est pas possible de lui donner une grande pression (5 millimètres de mercure tout au plus), la hauteur de la colonne de lit de fusion ne peut être que très faible.

La disposition d'un pareil four atmosphérique, tel qu'il était employé dans la Sierra de Carthagène, est mise en évidence par la figure 261.

C'est un four à creuset à œil, dont la partie supérieure est entourée d'un muraillement et qui possède six tuyères en terre cuite *l, l*. L'extrémité supérieure de la cuve du four se termine par un canal *v*, qui met le four en communication avec une haute cheminée. L'introduction du lit de fusion et du combustible a lieu par l'ouverture *e*, qui est tenue fermée par une porte, afin de ne pas contrarier le tirage. La scorie s'écoule par un œil sur la voie des scories, ménagée dans l'avant-four *d*. Le plomb, qui se rassemble dans le creuset *b*, est puisé dans le bassin de réception *c*. Pour que l'introduction de l'air ait lieu uniformément dans les tuyères, la partie inférieure du four est entourée d'un mur *z*.

Parmi les fours à cuve à tirage, dans lesquels l'introduction du vent a lieu, au moyen d'autres dispositifs d'aspiration, les fours à jet de vapeur sont les



plus importants. L'air est aspiré dans ces fours au moyen d'un injecteur de vapeur adapté au-dessus du gueulard. Les plus connus de ces fours sont ceux de HERBERTZ. Ils sont employés pour la refonte du fer brut. On s'en est aussi servi pour la fonte de charges facilement fusibles d'autres métaux. Le vent pénètre dans ces fours par une fente annulaire, que l'on peut

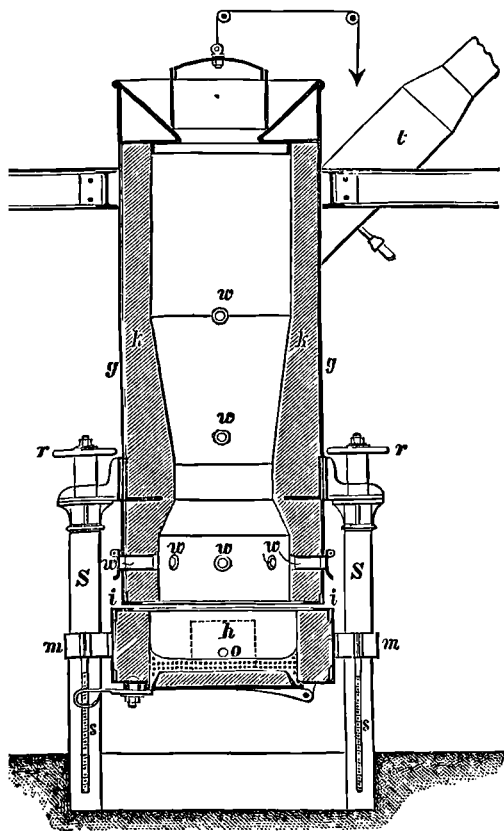


Fig. 262. — Four d'Herbertz à sole mobile (four à jet de vapeur).

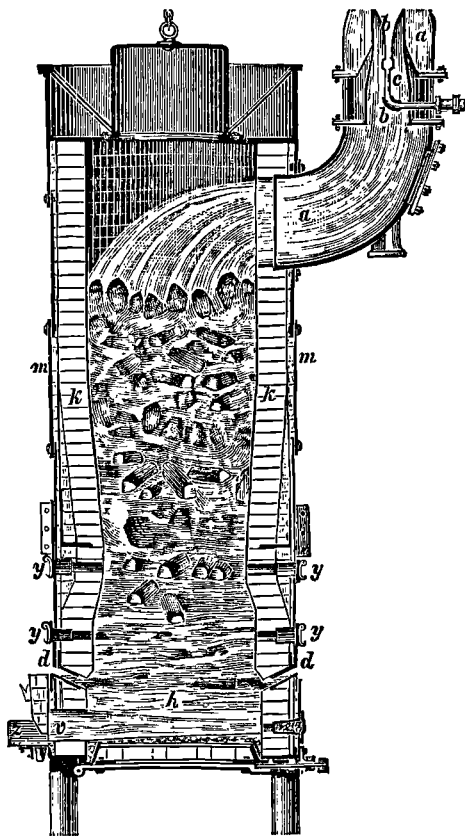


Fig. 263. — Four d'Herbertz à sole mobile; dispositif pour la fonte du fer brut (four à jet de vapeur).

élargir ou rétrécir en abaissant ou relevant la sole du four. Deux modes de construction de four ont été indiqués dans ce but par HERBERTZ.

Dans le premier, la cuve entourée d'une enveloppe en fer doux repose sur quatre colonnes creuses, dans chacune desquelles est adaptée une tige filetée avec roue de réglage. La sole peut, à l'aide de ce dispositif, être élevée ou abaissée. On peut, de cette façon, non seulement régler l'introduction du vent, mais encore descendre la sole assez bas pour qu'il soit possible de la nettoyer ou de la réparer.

Dans le deuxième mode de construction, la cuve repose sur des sup-

ports. Ceux-ci sont munis de pieds sur lesquels s'appuient des tiges filetées. Celles-ci supportent la sole et permettent de la soulever ou de l'abaisser. Au-dessous du gueulard débouche un tube par lequel les gaz

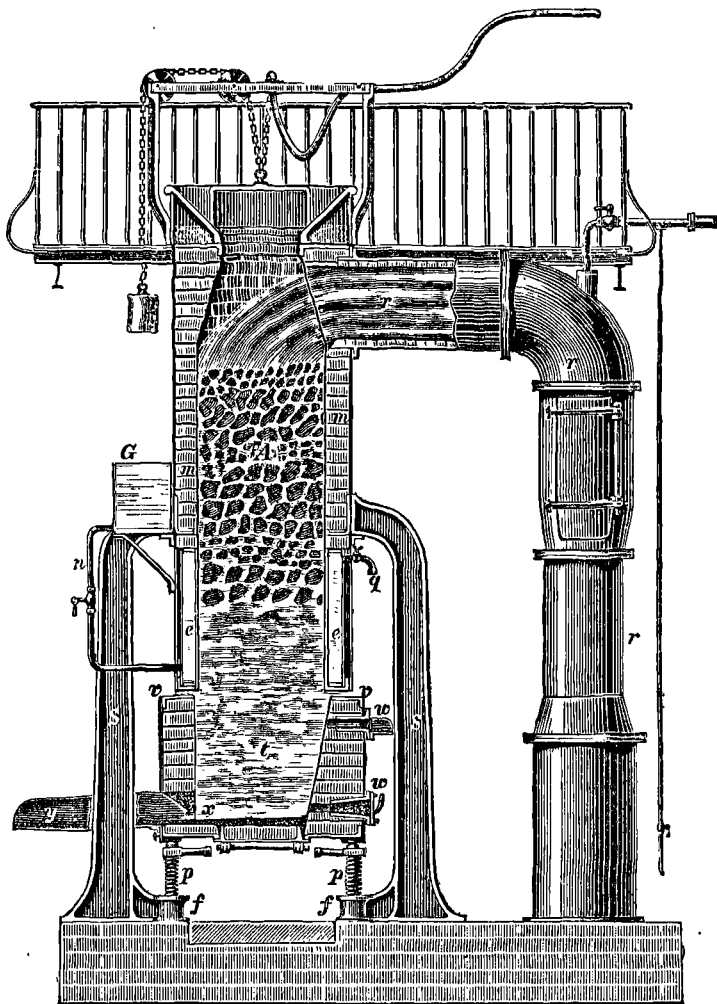


Fig. 264. — Four d'Herbert à sole mobile: dispositif pour le traitement des minerais de plomb (four à jet de vapeur).

s'échappent. Dans ce tube est adapté un second tube, dans lequel se trouve un injecteur de vapeur. Le tube extérieur s'ouvre dans une cheminée, si certains éléments ne doivent pas auparavant être extraits des gaz du gueulard.

Un four de la première espèce est représenté par la figure 262. S, S sont les colonnes creuses soutenant le four et dans lesquelles se trouvent les

tiges filetées  $s$ ,  $s$  avec roues de réglage  $r$ ,  $r$ .  $m$ ,  $m$  sont les écrous reliés à la sole mobile  $h$ ;  $i$  est l'ouverture annulaire pour l'introduction du vent, ouverture que l'on peut agrandir ou rétrécir, en abaissant ou soulevant la sole. Le four est disposé comme un four à creuset.  $o$  est le trou de coulée,  $w$ ,  $w$  sont des regards,  $t$  est un tube par lequel les gaz sont aspirés du four;  $k$  est la chemise intérieure et  $g$  l'enveloppe en fer doux qui l'entoure.

Le dispositif pour l'entraînement des gaz et l'aspiration de l'air est mis en évidence dans la figure 263, qui représente un four pour la refonte du fer brut.  $a$  est le tube de sortie des gaz débouchant dans le four. Dans ce tube, se trouve un second tube  $b$  rétréci par en haut et dans celui-ci l'injecteur  $c$ . L'air pénètre par la fente  $d$ , tandis que les gaz s'échappent par le tube  $a$  et montent partie dans le tube  $b$  contenant l'injecteur, partie dans l'espace annulaire qui se trouve entre les tubes  $a$  et  $b$ .  $h$  est la sole mobile ou le creuset,  $v$  le trou de coulée,  $z$  la gouttière pour l'écoulement des masses fondues;  $y$ ,  $y$  sont des regards;  $k$  est la chemise intérieure et  $m$  son enveloppe en fer doux.

La figure 264 représente un four soutenu par des supports, avec sole ou creuset reposant sur des tiges filetées; ce four est disposé pour l'extraction du plomb.  $A$  est la cuve. Celle-ci est en maçonnerie dans sa partie supérieure  $m$ , tandis qu'elle est formée, au-dessus du creuset  $t$ , par une paroi creuse  $e$ , dans laquelle circule de l'eau.  $S$ ,  $S$  sont les supports fixés à l'enveloppe de la cuve.

Dans les pieds  $f$  de ces supports, sont fixées les tiges filetées  $p$ , qui soutiennent le creuset et permettent de le remonter ou de le descendre,  $v$  est la fente annulaire pour l'entrée du vent;  $w$ ,  $w$  sont des regards;  $x$  est le trou de coulée du creuset,  $y$  est une gouttière pour l'écoulement des masses fondues. Les gaz passent par le tuyau  $r$  dans des appareils condensateurs, où se précipitent les poussières ou bien où sont rendus inoffensifs les gaz nuisibles. L'eau de réfrigération pour la paroi métallique creuse du four pénètre, du vase  $G$  par le tube  $n$ , dans la partie inférieure de la paroi et en sort à la partie supérieure par le tube  $q$ .

Le vide produit dans les fours d'HERBERTZ correspond, avec de la vapeur à 4-5 atmosphères de tension, à 1 mètre de l'orifice d'entrée du vent, à une colonne d'eau de 40-60 millimètres.

Les fours d'HERBERTZ ne peuvent trouver emploi que dans les fusions qui exigent une faible pression de vent.

## 2. — Fours à cuve à soufflerie ou four à cuve soufflés.

### *Fours à cuve avec muraillement.*

Parmi les fours de cette espèce avec section horizontale circulaire et rétrécissement uniforme de celle-ci vers le bas, nous mentionnerons : les anciens fours à étain, les anciens fours à plomb du Harz Supérieur et les fours à plomb de Schemnitz.

Le four à étain est représenté par la figure 265. C'est un four à creuset à œil;  $k$  est la chemise intérieure,  $e$  le muraillement,  $v$  la poitrine,  $f$  l'em-

brasures des tuyères, *t* le creuset, *a* l'œil, *s* le bassin de réception des masses métallifères, *w* l'avant-four.

La figure 266 représente l'*ancien four à plomb du Harz Supérieur*. C'est un four à bassin. *S* est la cuve, *x* la chemise intérieure, *y* le muraillement, *t* le bassin ; *z, z* sont les tuyères, *w, w* les tubes porte-vent, *F, F'* sont les chambres à poussières et *N, N* des galeries d'accès voûtées, par lesquelles on arrive aux tuyères. De pareils fours, avec ouvrage non libre

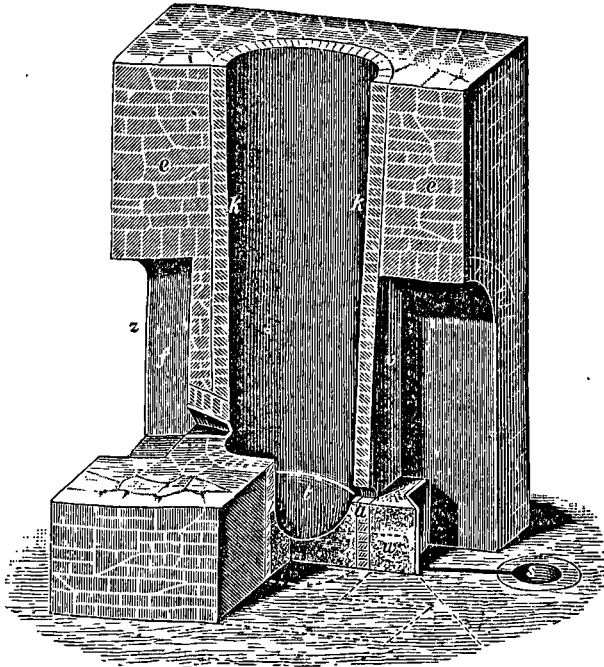


Fig. 265. — Ancien four à étain.

et chambres à poussières au-dessus du gueulard, ne se construisent plus actuellement.

La disposition de l'*ancien four à plomb de Chemnitz* est mise en évidence par la figure 267. C'est un four à creuset à coulée automatique (au moyen du siphon d'ARENT). *A* est la cuve, *k* la chemise intérieure, *r* le muraillement supporté par les colonnes *s* ; *m, m* sont les parois de l'ouvrage, qui sont en fer et refroidies avec de l'eau ; *f, f* sont les orifices d'introduction du vent ; *a* est le siphon d'ARENT pour le plomb, qui coule d'abord dans le creuset extérieur *h* et de ce dernier dans le bassin *w*. *z* est un conduit par lequel a lieu l'écoulement automatique de la matte. A une hauteur encore plus grande se trouvent les œils des scories non visibles dans la figure ; *c* est un canal annulaire pour aspirer et entraîner latéralement les gaz du gueulard ; *g* est le gueulard.

Parmi les fours à cuve avec muraillement et section horizontale circu-

laire dans la cuve et dans les étalages, et section horizontale rectangulaire dans l'ouvrage nous mentionnerons l'ancien haut fourneau à fer avec bassin. Il est représenté par la figure 268.

S est la cuve à section horizontale circulaire s'élargissant jusqu'aux étalages ; R sont les étalages également à section circulaire et se rétré-

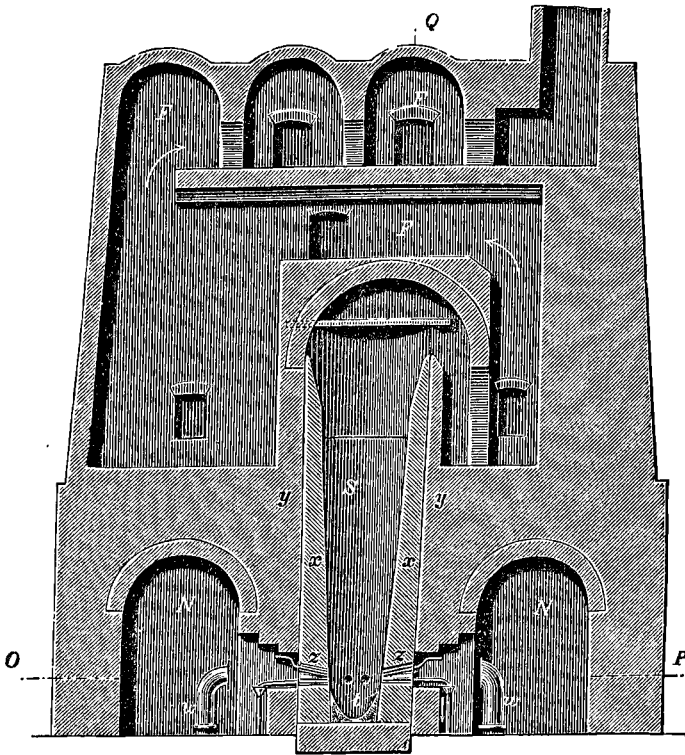


Fig. 266. — Ancien four à plomb du Harz Supérieur.

cissant jusqu'à l'ouvrage ; G est l'ouvrage à section horizontale rectangulaire. La chemise intérieure  $x$  est séparée par le revêtement intermédiaire  $y$  d'une deuxième maçonnerie  $o$ , touchant au muraillement  $x$ . L'ouvrage du four est libre, tandis que la partie qui se trouve au-dessus est supportée par le muraillement reposant sur quatre piliers. Les trois tuyaux portent sur introduits dans l'ouvrage par des voûtes ménagées dans le muraillement. Une quatrième voûte donne accès à la partie inférieure du haut fourneau, où se trouve la tympe  $u$ , la dame  $p$ , la voie des scories  $w$  et le trou de coulée non visible dans la figure. Un passage voûté  $T$  permet d'atteindre commodément les tuyères. Ces fours, qui étaient autrefois fréquemment en usage, ne sont plus maintenant construits.

Parmi les fours à section horizontale rectangulaire et parois verticales, nous mentionnerons l'ancien four à plomb de Przibram. C'est un

four à creuset à œil. Sa disposition est mise en évidence par les figures 269 à 271. *k* est la chemise intérieure, *w* le revêtement intermédiaire, *l* le muraillement, *a* la poitrine; *h* est l'ouvrage entouré de trois côtés par des parois en fer refroidies; *t* est le creuset, *s* l'œil des scories, *z* le trou de coulée, *b* la gouttière pour les scories, *c* le bassin de réception des masses métallifères: *d* est l'ouverture de chargement, *e* un canal pour l'entraînement des gaz du gueulard.

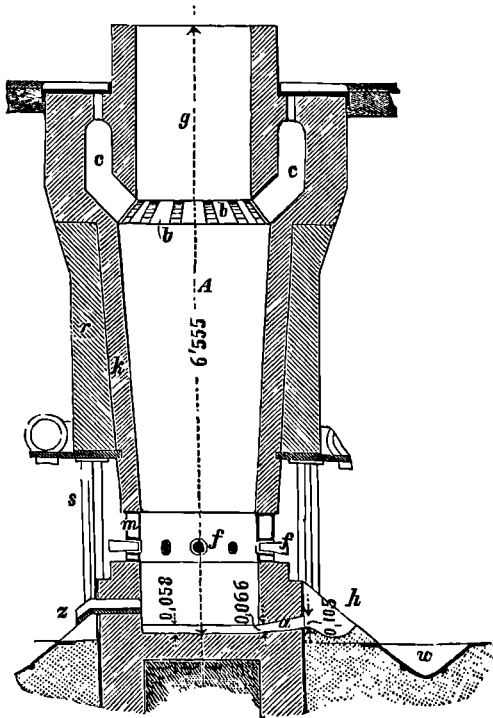


Fig. 267. — Ancien four à plomb de Schemnitz.

Comme *fours à section horizontale rectangulaire et longues parois latérales convergeant vers l'ouvrage*, nous indiquerons le *four de RASCHETTE*, qui sert pour la fusion des minerais de cuivre et de plomb. Il est représenté par les figures 272 et 273. C'est un four à bassin double, car il possède deux bassins, qui au milieu du four se réunissent en formant un chevalet. Les longs côtés de la section horizontale rectangulaire se raccourcissent vers la partie inférieure, tandis que les côtés courts offrent la même largeur à toutes les hauteurs.

*k* est la chemise intérieure, *r* le muraillement; *e, e* sont les deux bassins, *v, v* les deux parois antérieures; *h, h* sont des canaux, par lesquels sont entraînés dans les chambres à poussières *b, b* les vapeurs de plomb sortant du four; *c, c* sont les tuyères, *f, f* les tuyaux porte-vent; *a* est le gueulard.

Parmi les fours à section horizontale trapézoïdale et réduction de celle-ci vers l'ouvrage, nous mentionnerons le four à plomb de Stolberg, qui était autrefois en usage à Freiberg. Il est représenté par figures 274 à 276. C'est un four à bassin. *k* est la chemise intérieure, *r* le muraillement,

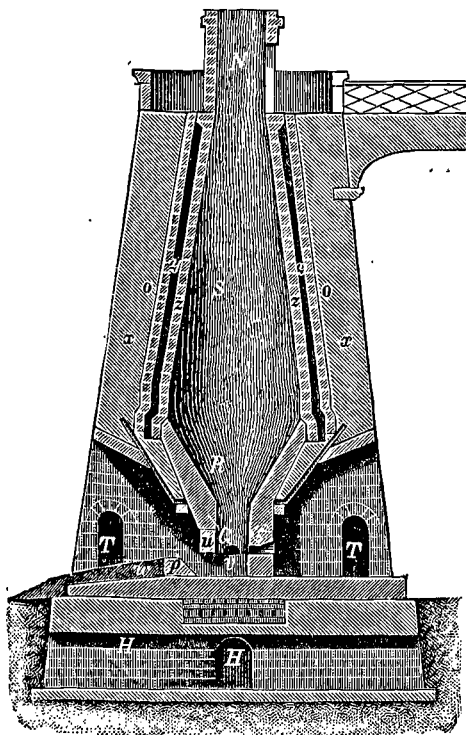


Fig. 268. — Haut fourneau à fer ancien.

S le bassin, II l'avant-creuset ; M, M sont deux bassins de réception en brasque pour les masses métalliques fondues ; N, N sont les tuyères, Z est l'ouverture de chargement ; W, W sont des canaux pour l'entraînement de l'humidité.

#### *Fours à cuve sans muraillement.*

Aux fours de cette espèce, qui sont entourés d'une enveloppe ou manteau en fer doux, appartiennent les fours à plomb de PILZ, les nouveaux hauts fourneaux à fer et de nombreux fours pour la refonte du fer brut.

Le four de PILZ, qui a d'abord été employé à Freiberg, est représenté par les figures de 277 à 279. C'est un four à creuset à œil. S est la cuve, C la chemise intérieure entourée d'un manteau en fer doux ; *v, v* sont des colonnes en fonte qui supportent ce dernier, et la majeure partie de la maçonnerie ; G est l'ouvrage, T le creuset ; *m, m* sont les gouttières à

scories. L'ouvrage est formé de parois creuses en fer refroidies avec de l'eau.  $w$  est un cylindre suspendu dans le gueulard, qui fait passer les gaz se dégageant du four dans le tube abducteur P.

Un haut fourneau à fer nouveau est représenté par la figure 280. C'est un four à creuset. Son ouvrage est libre, tandis que la cuve  $d$  et le man-

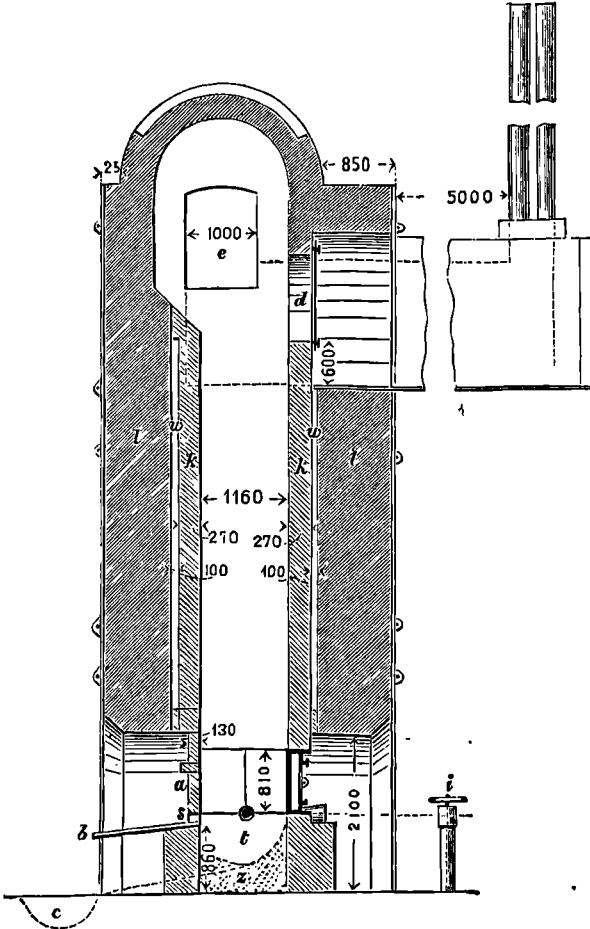


Fig. 269. — Four à plomb ancien de Przi Bram; coupe verticale suivant CD (fig. 271).

teau en fer doux qui l'entoure reposent sur une couronne en fonte  $c$ , qui à son tour est supportée par les colonnes  $g$ . Le manteau et la chemise intérieure sont séparés l'un de l'autre par une enveloppe intermédiaire n'ayant que 10-20 centimètres d'épaisseur;  $a$  est le tuyau porte-vent. Celui-ci repose sur des consoles qui sont vissées sur les colonnes, mais non visibles dans la figure. A la partie supérieure du manteau sont fixées des consoles  $f$ , qui supportent la plate-forme du gueulard  $e$ ;  $t$  est un tuyau pour recueillir les gaz se dégageant de ce dernier.



Parmi les fours à cuve ou *cubilot*s qui sont employés pour la refonte du fer doux, nous mentionnerons le *cubilot d'Irlande*, qui est représenté par la figure 281. C'est un four à creuset. La chemise intérieure *h*, entourée d'un manteau en fer cylindrique, est rétrécie dans le bas. Le vent pénètre dans le four à trois hauteurs différentes par les ouvertures *a*,

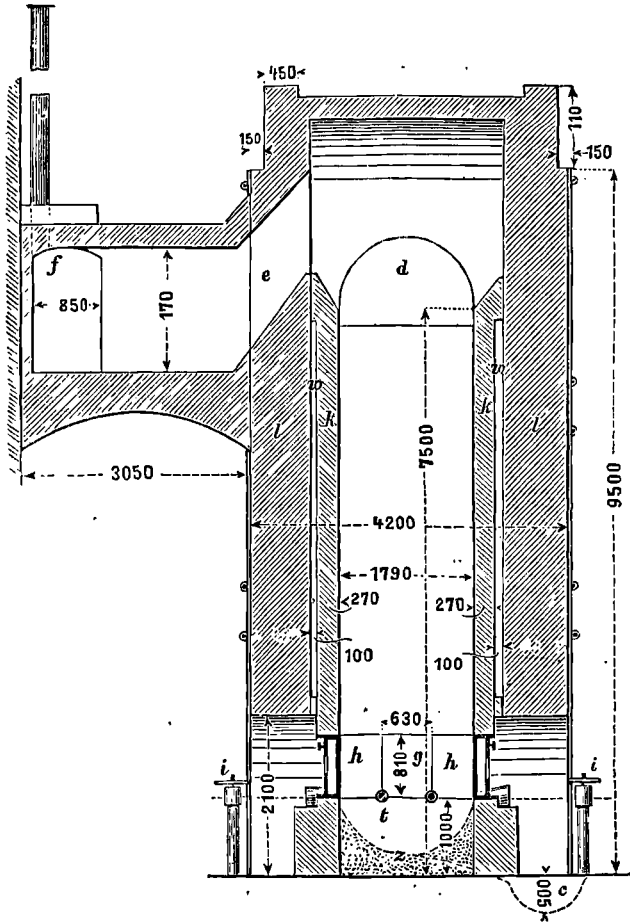


Fig. 270. — Four à plomb ancien de Przibram; coupe verticale suivant AB (fig. 271).

*d* et *b*. *a* est un tuyau porte-vent, *c* un tube en couronne, *g* l'ouverture de chargement. Le trou de coulée n'est pas visible dans la figure.

Un four dont la chemise intérieure n'est soutenue que par des bandes de fer est représenté par la figure 282. C'est un haut fourneau à fer établi comme un four à creuset, *d* est la cuve; *k* sont les étagères, *b, b* les bandes de fer horizontales et verticales, *g, g* les colonnes supportant la cuve, *f, f* les colonnes en fer qui soutiennent la plate-forme du gueulard.

Les bandes de fer verticales sont fréquemment supprimées. Dans ce

cas, le four n'est entouré que de cercles en fer (de 70-100 millimètres de largeur et de 10-20 millimètres d'épaisseur), qui sont placés les uns au-dessus des autres à des distances égales à la hauteur de trois ou quatre assises des pierres formant la cuve.

*Fours à cuve avec parois métalliques.*

Dans ces fours, que l'on désigne sous le nom

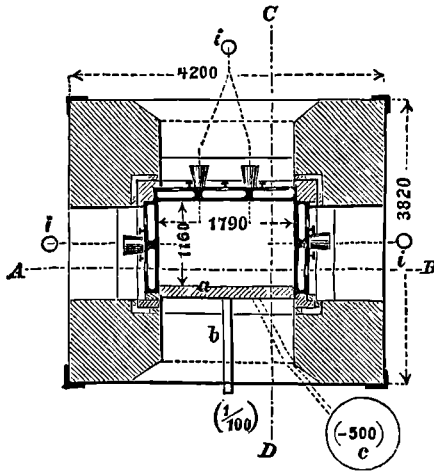


Fig. 271.

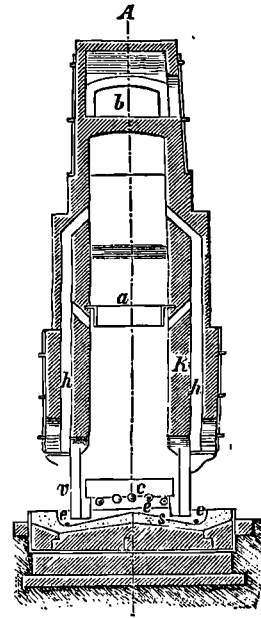


Fig. 272.

Fig. 271. — Four à plomb ancien de Przi Bram; coupe horizontale au-dessus des tuyères.

Fig. 272. — Four Raschette; coupe verticale suivant B (fig. 273).

de fours à water-jacket (*fours à chemise d'eau*), de l'eau pénètre dans la partie inférieure de la paroi métallique et en sort par la partie supérieure. Un pareil four à section horizontale circulaire a déjà été représenté par les figures 246 et 247 (p. 386). Les figures 283 et 284 représentent un four à section horizontale elliptique. Il est employé aux Etats-Unis de l'Amérique du Nord pour la fonte de minerais de cuivre ; c'est un four à rigole. Il est la paroi creuse en fer doux du four, elle est refroidie au moyen d'eau, qui entre dans la partie inférieure de l'espace creux et en sort par sa partie supérieure. Le four est supporté par les colonnes S, S. T est le bassin de réception des masses fondues ; il est muni de parois refroidies et repose sur des roues. K est la boîte à vent ; F, F sont des tubes refroidis par lesquels le vent pénètre dans le four.

La figure 285 représente la vue extérieure d'un *four à water-jacket à section horizontale rectangulaire*, qui est également employé aux États-Unis de l'Amérique du Nord pour la fonte des minerais de cuivre (four d'HENRICH). *w* est le tuyau porte-vent ; *v, v* sont les différents tubes pour l'entrée et la sortie de l'eau de réfrigération.

### Conduite des fours à cuve de fusion.

La conduite des différentes sortes de fours, à l'exception des fours à cuve de fusion, présente de très grandes différences, de sorte qu'il n'est pas bien facile de donner sur cette conduite des indications générales se

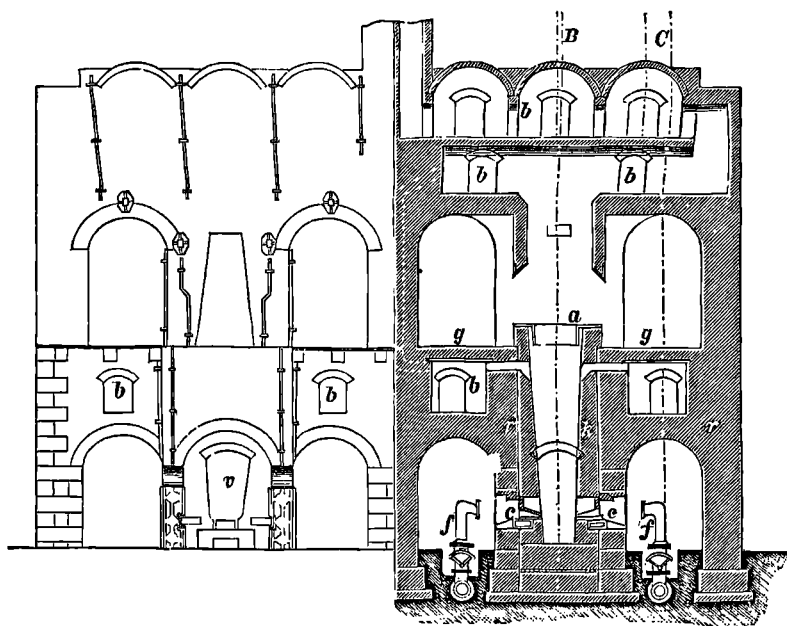


Fig. 273. — Four Raschette; coupe verticale suivant A (fig. 272).

rapportant à toutes les sortes de fours ; l'étude de ce sujet doit être faite à propos de l'extraction de chaque métal en particulier (dans la métallurgie spéciale). La conduite des fours à cuve de fusion offre au contraire de nombreux points communs, que nous allons examiner dans les pages suivantes.

### *Séchage ou fumage des fours.*

Avant la mise en marche, le four à cuve de fusion est convenablement séché, afin d'éliminer l'humidité de la maçonnerie et des dispositifs destinés à extraire du four les masses fondues et à les recueillir. Lorsqu'il s'agit des hauts fourneaux, on adapte ordinairement un foyer à grille devant le four et l'on fait passer les produits de la combustion à travers ce dernier, qui dans ce cas joue le rôle d'une cheminée. Pour le séchage d'autres fours à cuve, on adapte sur leur solc un foyer à grille ou bien on y fait un feu de bois.

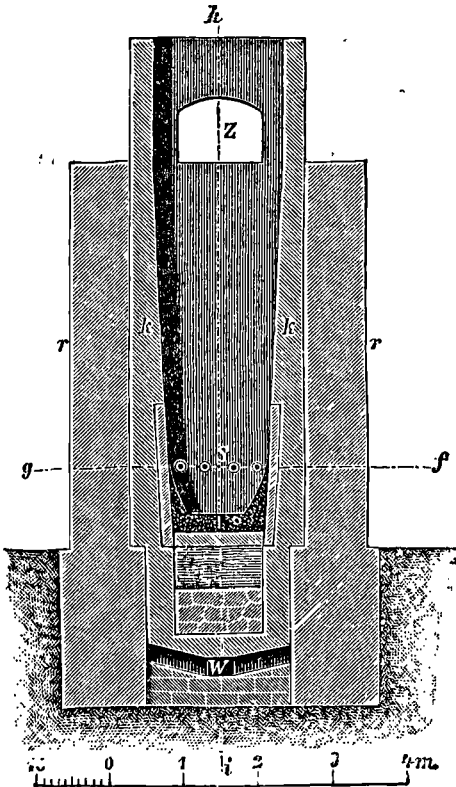


Fig. 274. — Four à plomb de Stolberg; coupe verticale suivant *p o* (fig. 275).

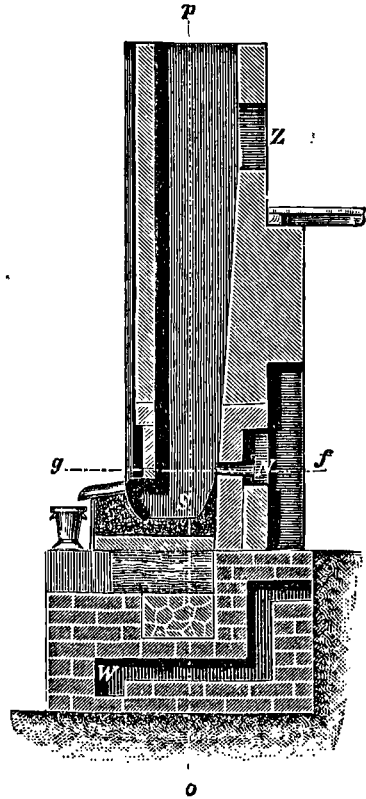


Fig. 275. — Four à plomb de Stolberg; coupe verticale suivant *h i* (fig. 274 et 276).

### Mise en marche des fours.

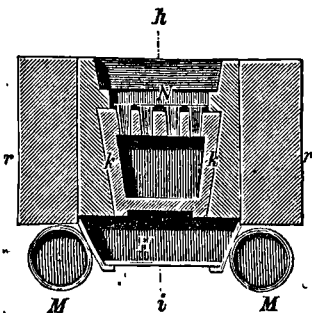
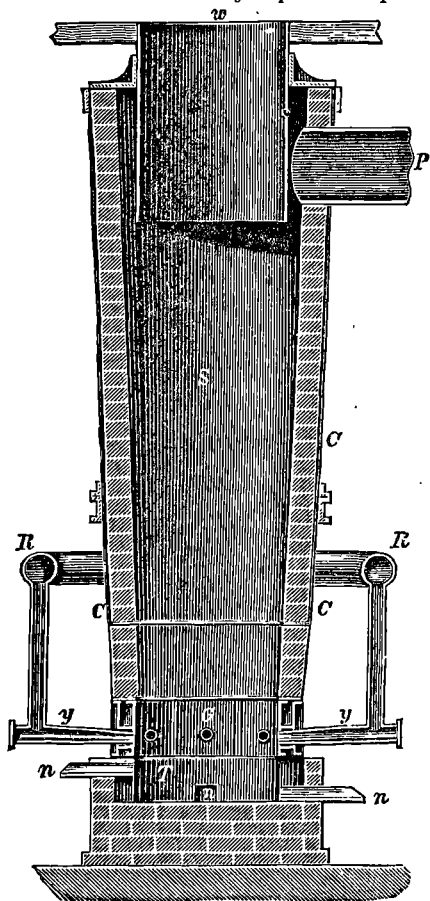


Fig. 276. — Four à plomb de Stolberg; coupe horizontale suivant *g f* (fig. 274 et 275).

Après le séchage, le four est rempli de combustible jusqu'à une certaine hauteur, et ce dernier est allumé par en bas. Lorsque l'incandescence est parvenue jusqu'à la hauteur des tuyères (ou, dans d'autres cas, lorsque la première scorie paraît devant les tuyères), on fait arriver dans le four un léger courant d'air, que l'on augmente peu à peu. Pour scorifier la cendre du coke, on ajoute lors de la mise en marche des hauts fourneaux de la pierre calcaire et ensuite du laitier. On augmente peu à peu la quantité de ce dernier. On peut alterner les charges de lit de fusion avec les charges de combustible. Avec d'autres fours, on commence en général par une charge de

scorie, que l'on fait suivre de petites charges du lit de fusion, alternées avec des charges de combustible. On augmente peu à peu les quantités du lit de fusion, jusqu'à ce qu'on ait atteint les proportions normales entre les quantités de lit de fusion et de combustible.



### Chargement.

La quantité de combustible qui est introduite en une seule fois dans le four est appelée *charge de charbon* ou de *coke*, tandis qu'on nomme la même quantité de lit de fusion *charge* ou *dose de minéral*. On distingue la charge de minéral en : *charge pleine*, c'est-à-dire la charge normale, *charge légère*, qui est plus petite que ce qui correspond à la charge normale, et la *charge lourde*, qui est plus grande que la charge

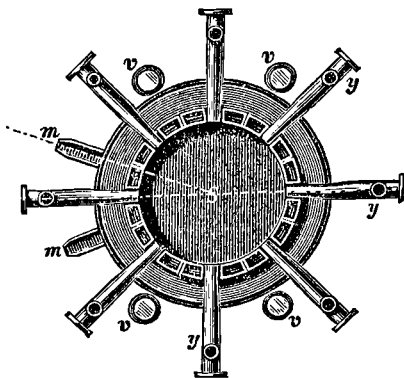


Fig. 277. — Four Pils; coupe verticale.

Fig. 278. — Four Pils; coupe horizontale au-dessus des tuyères.

normale. On désigne sous le nom de *chargement* l'introduction des charges dans le four. On nomme *alternance* ou *succession des charges* le temps écoulé entre l'addition d'une charge de minéral ou de charbon et l'addition suivante d'une charge de minéral ou de charbon. Il est de règle de ne jamais modifier pendant le travail la proportion de la charge de charbon ou de coke. S'il est nécessaire d'apporter un changement au rapport entre la charge de combustible et la charge de minéral, c'est cette dernière qui doit être modifiée, mais non la charge de combustible, parce que les minerais, par suite de leur poids spécifique élevé, prennent moins d'espace dans le four que les combustibles, et la modification dans les charges de

minerais présente, par suite, moins d'inconvénients que celles des charges de combustible. La grandeur des charges dépend de la nature du combustible et du lit de fusion, de la nature du procédé de séparation, ainsi que des dimensions du four ou de l'ouverture du gueulard.

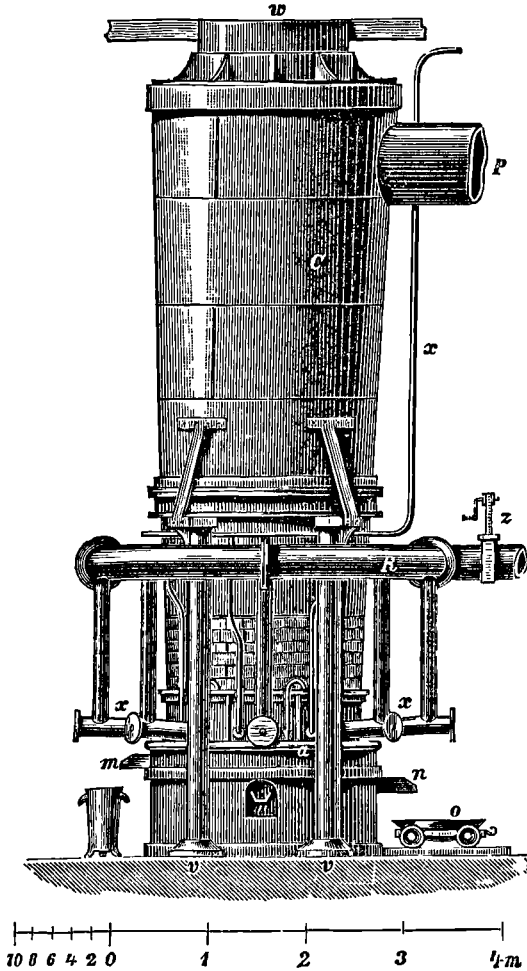


Fig. 279. — Four Pils; vue extérieure.

Les charges sont généralement pesées, rarement mesurées. Elles sont introduites dans les fours à l'aide de wagnonets, de brouettes, de baquets ou de paniers.

Le combustible et le lit de fusion sont chargés de façon à former dans le four des couches horizontales alternativement superposées, ou des couches verticales. Dans ce dernier mode de chargement, qui était autrefois fréquemment en usage avec les fours à section carrée ou oblongue, et dans

lesquels le vent était introduit par la paroi postérieure, on place la charge

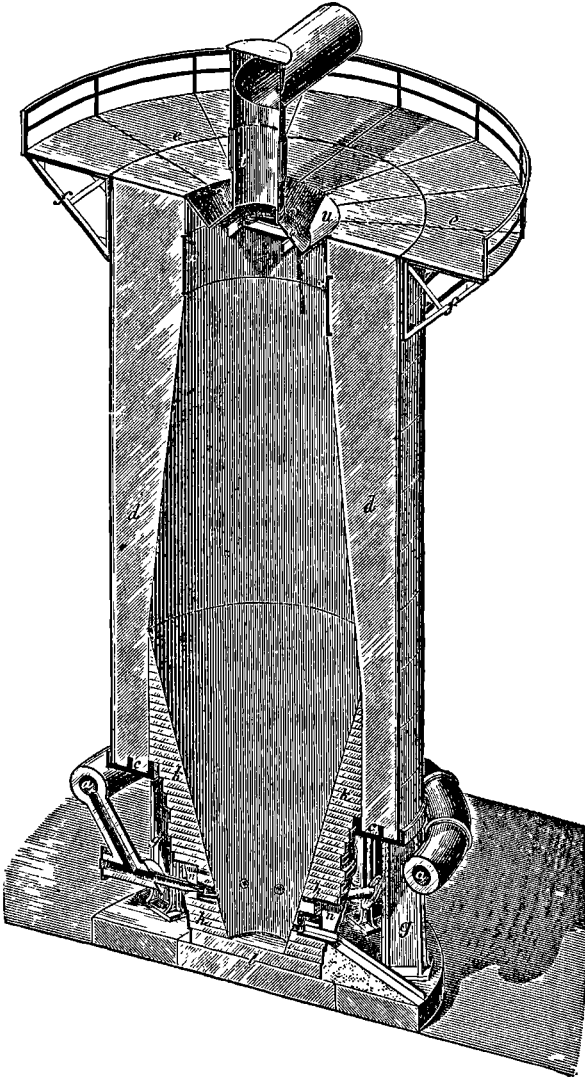


Fig. 280. — Haut fourneau à fer nouveau.

de minerai contre la paroi antérieure. On nomme le premier [mode de chargement] **chargement horizontal** et le dernier **chargement vertical**.

*Chargement horizontal.*

Dans le **chargement horizontal**, la chaleur développée par la combustion des combustibles, ainsi que l'action réductrice du charbon et de l'oxyde

de carbone sont beaucoup mieux utilisées que dans le chargement vertical. Le chargement horizontal était autrefois en usage surtout pour les hauts fourneaux et les fours pour la refonte du fer brut, tandis que, actuellement, il est aussi employé avec avantage pour l'extraction de la plupart des autres métaux.

Lorsque le gueulard est ouvert, on maintient la charge de combustible couverte par la charge de minerai, afin d'éviter une consommation de com-

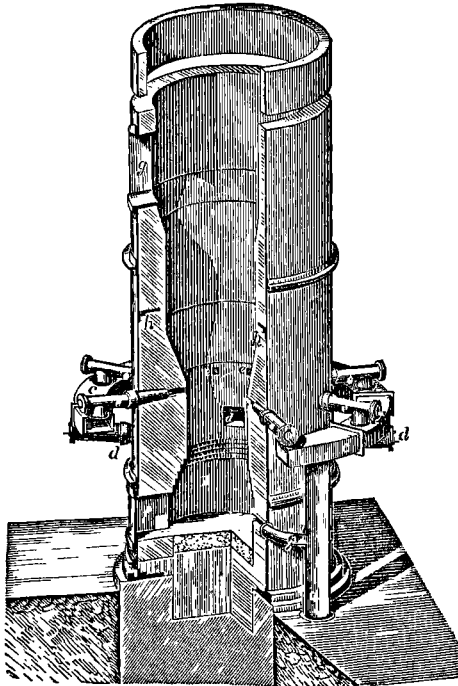


Fig. 281. — Cubilot d'Ireland.

bustible sans profit, tandis que si, comme à l'ordinaire, le gueulard est fermé, c'est l'inverse qui a lieu. Les charges sont en général introduites de façon que les gros morceaux de minerais du lit de fusion et le combustible arrivent à se trouver dans le milieu du four et les petits morceaux près des parois. Les gaz sont ainsi forcés de monter dans le milieu du four, mais non sur les côtés, de sorte que leur chaleur est mieux utilisée et le cas échéant ils peuvent aussi exercer une meilleure action chimique.

Si le gueulard est ouvert, on distribue les masses diverses dans le four à l'aide de baquets, de paniers, de brouettes ou de wagonnets, de façon à disposer les matières comme il vient d'être dit. Si le gueulard est fermé, ce qui a lieu lorsqu'on veut recueillir et utiliser le gaz sortant des fours, des hauts fourneaux, par exemple, on se sert de dispositifs de chargement particuliers, dont il sera question ultérieurement, et qui permettent d'intro-



duire les charges de minerai et de charbon de la manière indiquée *sans perdre de gaz*.

Lors de la descente des charges, les morceaux de celles-ci qui se trou-

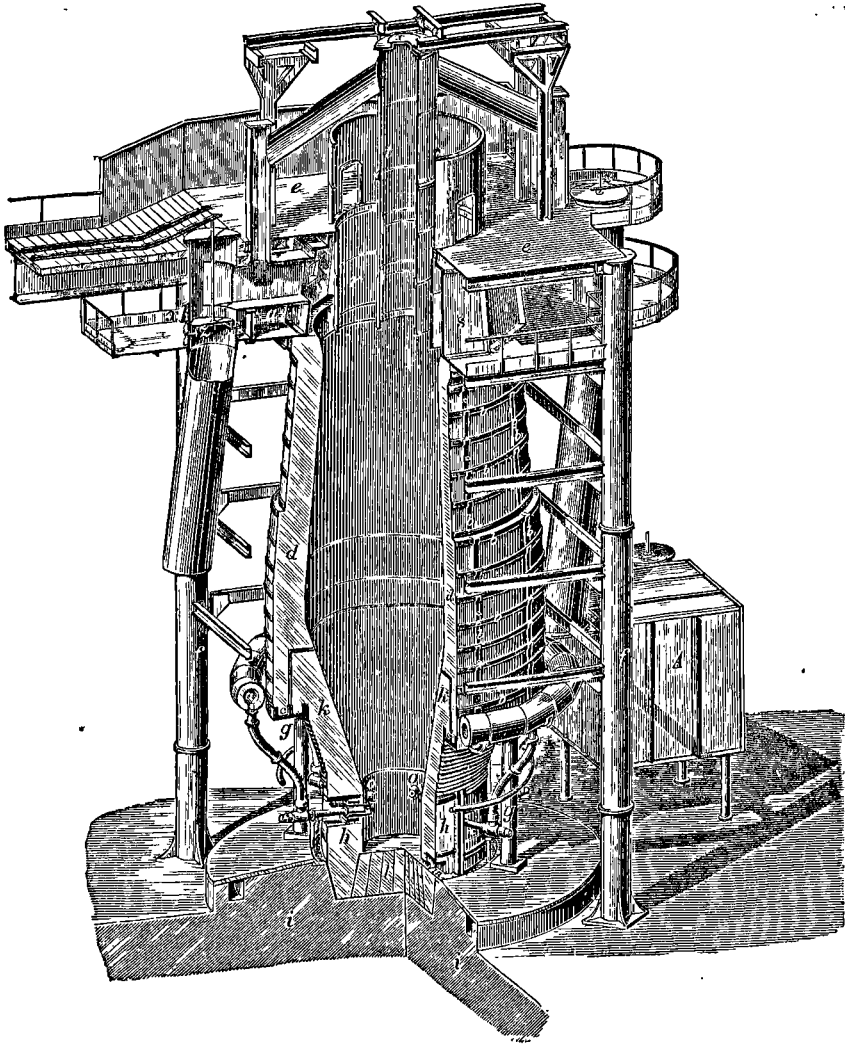


Fig. 282. — Haut fourneau avec chemise intérieure soutenue par des bandes de fer.

vaient au bord sont retenues par le frottement sur les parois du four plus longtemps que les morceaux du milieu, de sorte que les couches s'affaissent dans le milieu. Comme la régularité de la descente des charges est ainsi entravée, on cherche autant que possible (le gueulard étant ouvert) à aplanir la surface des couches.

*Chargement vertical.*

Dans le chargement du minerai et du combustible en couches verticales, les gaz réducteurs ne peuvent pas se disséminer aussi uniformément dans

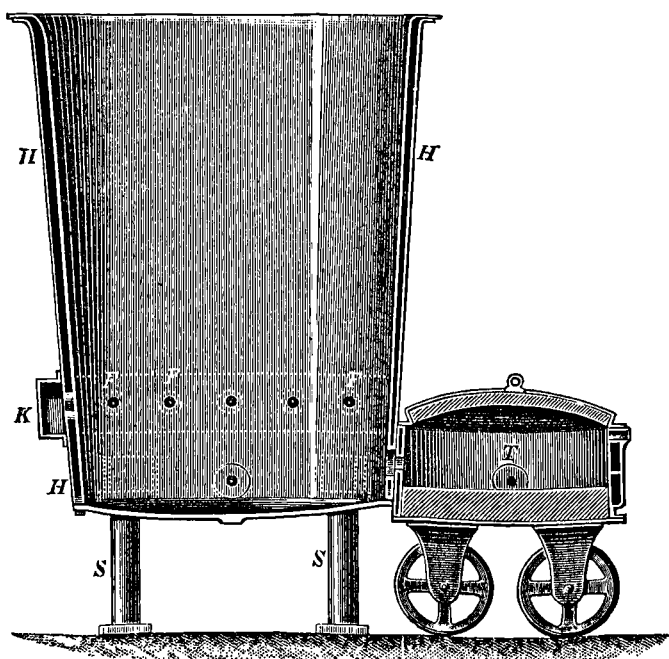


Fig. 283. — Four à water-jacket à section elliptique; coupe verticale.

le four que dans le chargement horizontal. (Actuellement, le chargement horizontal est presque exclusivement usité.) On a employé le chargement

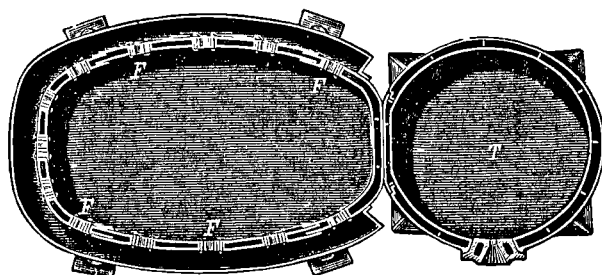


Fig. 284. — Four à water-jacket à section elliptique; coupe horizontale.

vertical dans les cas où des oxydes facilement réductibles devaient être réduits, tandis que d'autres (sesquioxyde de fer) devaient être scorifiés, comme dans l'extraction de l'argent, du cuivre, du plomb.

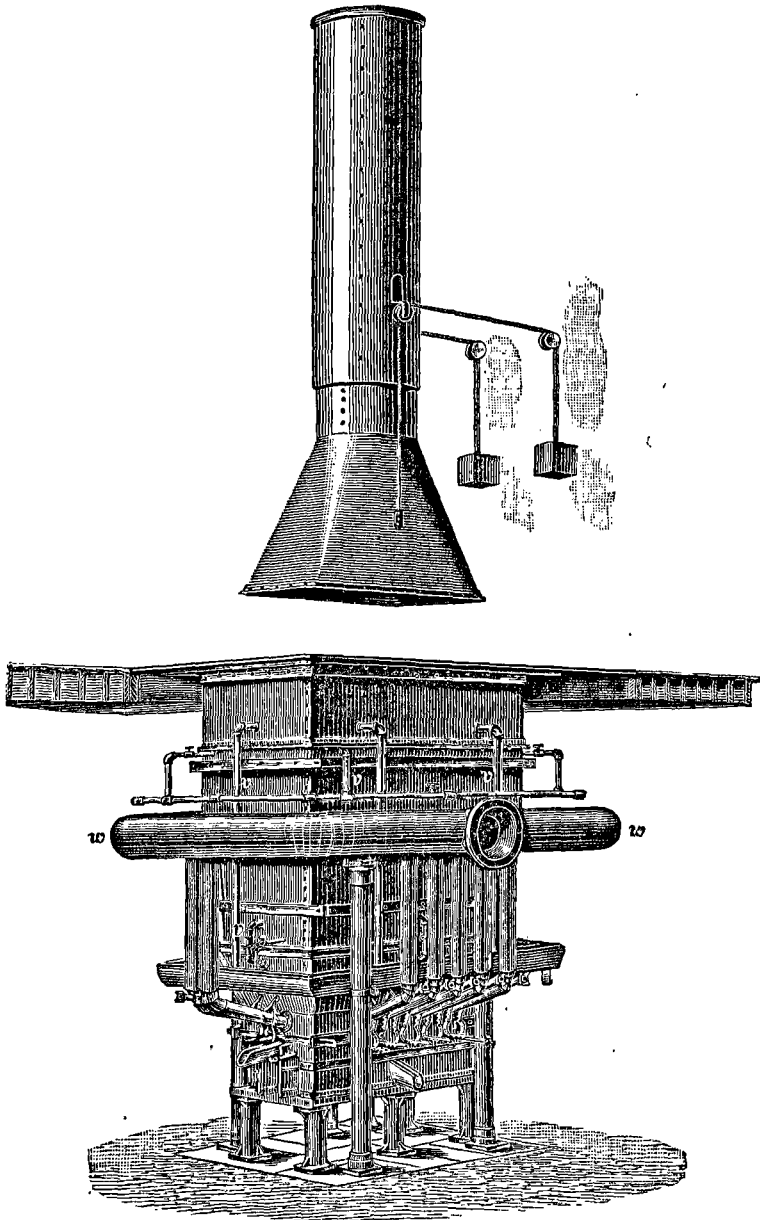


Fig. 285. — Four à water-jacket à section rectangulaire (four de Henrich).

*Fusion avec un nez.*

“ Dans le chargement vertical, on fond avec un nez. On désigne sous le

nom de *nez* un prolongement de la tuyère dans le four à l'aide d'une masse tubulaire de scories. Pour former ce prolongement, on charge, avant le lit de fusion, une certaine quantité de scorie contre la paroi postérieure du four. Le nez est protégé de la fusion par la basse température du vent qui le traverse pour arriver dans le four. Au moyen du nez, le siège de la plus haute température se trouve dans le milieu du four, de sorte que les tuyères, de même que la paroi postérieure du four sont préservées contre l'action nuisible d'une trop grande chaleur. On peut, en outre, en déplaçant le nez, à l'aide d'une baguette de fer pointue (aiguille ou broche à tuyère), diriger le vent dans le point du four où cela est nécessaire et, en perçant des trous dans la paroi du nez, le disséminer de la façon qui convient. Lorsqu'on fond des schlichs, la formation de la poussière est restreinte par la fusion avec un nez, le lit de fusion n'étant pas exposé au courant d'air plein et une faible portion seulement étant ainsi réduite en poussière.

Dans la fusion avec un nez, on peut se rendre compte de la marche du four d'après la couleur et la grandeur du nez. S'il règne dans le four une température trop basse, le nez s'allonge et est sombre, tandis qu'avec une trop haute température il est clair et finit par fondre. En modifiant convenablement la charge de minerai, ainsi qu'en dirigeant et travaillant le nez à l'aide de la broche à tuyère, on peut donner au four une marche normale.

La fusion avec nez n'est plus actuellement employée que dans les fours à manche et souvent aussi avec les demi-hauts fourneaux.

Dans ces derniers temps, la plupart des usines ont abandonné le chargement vertical et la fusion avec nez, pour les remplacer par le chargement horizontal et la fusion sans nez.

En refroidissant les parois de l'ouvrage des fours et des tuyères, en conservant convenablement les fours, en donnant au lit de fusion une bonne composition, en introduisant les charges et le vent suivant les règles, non seulement on a évité les inconvénients de la fusion sans nez, mais encore on a amélioré les résultats de la fusion.

#### *Extraction des fours des produits de la fusion.*

Comme on l'a déjà expliqué précédemment, les produits de la fusion sont extraits des fours de différentes manières.

Des fours à rigole, les masses fondues s'écoulent d'elles-mêmes. Avec les fours à creuset et à bassin, s'ils ne sont pas munis d'un siphon d'ARENT, les masses métallifères sont percées, tandis que les scories s'écoulent toujours d'elles-mêmes des fours à bassin, et dans la plupart des cas des fours à creuset (excepté seulement des fours à creuset avec œil fermé). Depuis quelque temps, dans un grand nombre d'usines, les scories sont percées périodiquement et elles sortent alors du four chaudes et fluides. Les scories se solidifient sur la longue voie qui leur est offerte et d'où elles sont ensuite enlevées, ou bien elles coulent dans des wagonnets, dans des marmites à scories ou dans des moules particuliers, où elles prennent la forme de briques à bâtir; ou bien on les fait couler dans de l'eau où elles se transforment en grenailles, ou, en vue de la préparation de la laine de

scorie, elles sont exposées en un mince filet à l'action d'un courant de vapeur d'eau ou d'air soufflé. Si les scories sont mélangées avec des métaux ou des corps métallifères (sulfures), on les écoule dans des marmites dont la partie inférieure se rétrécit en formant un cône. Les masses métallifères se déposent dans la pointe du cône et peuvent être facilement isolées des scories.

Les métaux et les masses métallifères fondus sont évacués du creuset ou du bassin (sont percés) par ouverture du trou de coulée à l'aide d'une tige de fer (ringard, perceur), et ils coulent dans des moules, des lingotières, des trous, des coquilles, des bassins, desquels ils sont retirés par perçage ou enlevés après leur solidification. (Lorsqu'on emploie le siphon d'ARENT pour l'élimination du plomb et des mattes du four, le percement est remplacé par l'écoulement continu de ces corps.)

Dès que les masses fondues sont sorties du creuset ou du bassin, l'ouverture de sortie, le trou de coulée, est fermée au moyen d'un tampon de brasqué ou d'argile ou d'un morceau de bois.

#### *Nettoyage de la sole.*

Après la coulée, on cherche à nettoyer la sole autant qu'il est possible.

Dans les creusets ou les bassins des fours à cuve, il se rassemble pendant le travail des masses solidifiées de sulfures métalliques, de scories et de fer (crasses, cadmies, lous), qui sont enlevées à l'aide de pinces et leviers.

#### *Marche des fours.*

On se rend compte de la marche des fours d'après la nature des produits du procédé de fusion mis en œuvre, surtout des scories, par l'examen de la sole et de la cuve, d'après l'alternance des charges, d'après l'aspect des tuyères ou du nez et d'après celui du gueulard.

La scorie peut être trop épaisse ou trop fluide. On la ramène à l'état normal, en modifiant la composition du lit de fusion, ainsi que le rapport entre la charge de combustible et la charge de minerai et la quantité du vent soufflé. Comme on l'a déjà dit, il peut se former sur la sole des dépôts de masses solidifiées, tandis qu'il peut se produire dans la cuve des obstructions, par suite de la formation de cadmies, qui ont pour conséquence des perturbations dans l'alternance des charges. Ces perturbations peuvent aller si loin que l'on soit obligé d'arrêter la marche du four. Elles peuvent être produites aussi bien par des causes mécaniques que par des causes chimiques, dont les plus importantes sont les suivantes : construction défectueuse des fours, mauvaise composition du lit de fusion, combustibles non convenables, température trop basse, soufflage du vent défectueux, mauvaise proportion entre la charge de charbon et la charge de minerai. En apportant les modifications qui conviennent pour annuler ces causes de perturbation, aussi bien qu'en nettoyant la sole à fond, c'est-à-dire en éliminant les cadmies, les lous et autres dépôts à l'aide de pinces ou de leviers, ou par fusion, on peut faire disparaître en majeure partie les perturbations dont il vient d'être question.

La tuyère peut être trop claire ou trop sombre, le nez peut être trop grand ou trop petit et également trop clair et trop sombre, ce qui est dû à une température trop haute ou trop basse. En augmentant ou en diminuant la charge de minerais et modifiant le soufflage du vent, on remédie à ces inconvénients.

*Fusion avec gueulard clair et avec gueulard sombre.*

On peut travailler aussi bien avec gueulard clair qu'avec gueulard sombre. Le gueulard est clair, lorsque les gaz qui en sortent ont une température assez élevée pour qu'ils puissent s'enflammer au contact de l'air atmosphérique. Le gueulard est sombre, lorsque les gaz qui en sortent ont une température inférieure à leur température d'inflammation. Avec le gueulard sombre, la température du four est mieux utilisée qu'avec le gueulard clair. Il se volatilise aussi une moindre quantité de corps métalliques que dans le dernier cas, c'est pour cela qu'on fond presque exclusivement avec gueulard sombre. Avec les hauts fourneaux et quelques fours à cuivre, ces gaz sont si riches en oxyde de carbone qu'ils peuvent, comme on l'a déjà dit, être employés comme combustibles. Les dispositifs pour recueillir les gaz, les prises de gaz, seront décrits ultérieurement.

*Arrêt temporaire des fours.*

La suspension de la marche d'un four pour un temps court, par exemple, pour cause de réparations à effectuer au four lui-même ou à la machine soufflante, ou par suite du manque momentané de minerais ou de combustibles, est désignée sous le nom d'arrêt. Dans ce cas, on fond d'abord complètement le lit de fusion, puis on ajoute des charges légères et finalement seulement des charges de combustible (de façon qu'à la fin le four ne contienne que du combustible); on arrête la soufflerie; on vide la sole et on bouche toutes les ouvertures du four avec de l'argile. Dans cet état, le four peut rester rouge pendant de nombreux jours.

*Mise hors feu des fours.*

L'extinction définitive du four, sa mise hors feu, a lieu lorsque les foyers de fusion sont endommagés au point que le travail de la fusion ne puisse plus s'y faire avantageusement, lorsqu'il s'est produit dans le travail des perturbations auxquelles on ne peut pas remédier d'une autre manière et lorsque l'exigent d'autres raisons indépendantes de la fusion. Dans ce cas, on arrête le chargement et on laisse descendre les charges qui se trouvent dans le four. Après la dernière charge, on ajoute encore une petite quantité de scories, afin de détruire par fusion les dépôts qui peuvent exister dans le four.

Lorsque la dernière charge est arrivée devant la tuyère, on arrête le vent et on procède à la coulée; on démolit ensuite la poitrine du four et l'on retire de celui-ci ou de la sole les masses incandescentes au moyen

de pinces. On ne peut rétablir la partie inférieure du four qu'après refroidissement complet de ce dernier et l'élimination des masses solidifiées qui y sont restées.

On désigne sous le nom de **campagne** le temps pendant lequel un four a été en activité. La durée d'une campagne dépend de la qualité des matériaux employés pour la construction du four, de la nature du lit de fusion et de l'habileté avec laquelle le travail est conduit. Elle oscille entre plusieurs jours et une série d'années.

#### Fours à cuve pour les opérations de vaporisation.

Les fours à cuve employés jusqu'ici pour les opérations de vaporisation, sont les fours pour l'extraction du mercure des roches contenant du cinabre.

On a souvent essayé d'employer des fours à cuve pour l'extraction du zinc, mais jusqu'à présent sans succès.

Les fours à cuve pour les opérations de vaporisation — que les résidus laissés par celles-ci conservent leur état d'agrégation ou qu'ils fondent — doivent toujours être munis de dispositifs de condensation pour recueillir les vapeurs des métaux à extraire.

Si les résidus doivent conserver dans ces fours leur état d'agrégation, ceux-ci sont disposés comme les fours à cuve pour les opérations de calcination ; si, au contraire, les résidus doivent dans ces fours être scorifiés ou fondus, il faut disposer ces derniers comme des fours de fusion.

Comme les fours de la dernière espèce ne sont pas usités, nous n'aurons à nous occuper que de ceux dans lesquels les résidus conservent leur état d'agrégation. De pareils fours sont employés pour l'extraction du mercure, du cinabre, mais seulement pour les *minerais en morceaux*. (Pour l'extraction du mercure du *minerai menu*, on se sert de fours à flamme à cuve, ou de fours à réverbère.)

Les figures 286 et 287 représentent un four de NOVAK, pour l'extraction du mercure des *minerais en morceaux*, tel qu'il est employé à Idria. Les minerais contenant le mercure y sont chargés avec du charbon de bois en couches superposées. Il a une section horizontale rectangulaire et quatre ouvertures de déchargement. La chemise intérieure est entourée d'un muraillement ; *a, a* sont les ouvertures de déchargement ; *b* est un toit d'éboulement, muni de nombreuses petites ouvertures. De la sole du four, l'air pénètre à l'intérieur de *b* et arrive dans le four par les ouvertures en question, après s'être réchauffé ; *c* est la trémie de chargement, *d* le tube abducteur des gaz et des vapeurs de mercure. Afin d'éviter des

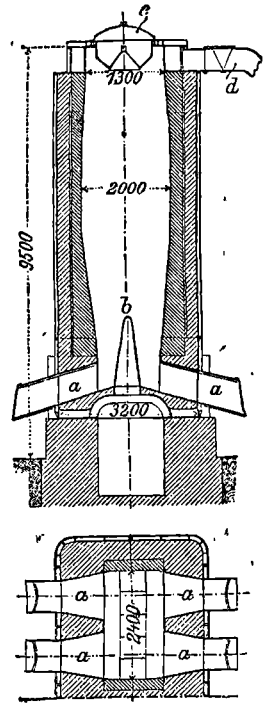


Fig. 286 et 287. — Four de Novak pour l'extraction du mercure des minerais en morceaux ; coupes verticale et horizontale.

pertes de mercure, le four est entouré d'une enveloppe en fer. Les gaz et les vapeurs mercurielles passent dans des condensateurs en grès et ensuite dans des chambres à poussières. Les appareils de condensation (en communication avec un ancien four) sont représentés par la figure 288. J, J sont les condensateurs en grès, K, K les chambres à poussières.

### β. — FOURS AVEC CHAUFFAGE PAR DES COMBUSTIBLES LIQUIDES

Dans ces fours, le *combustible liquide est formé par les masses fondues elles-mêmes*, la chaleur nécessaire pour l'opération étant fournie par l'oxydation de certains éléments des masses métalliques.

Dans les fours de cette espèce, on n'effectue que des opérations de fusion oxydante avec des masses déjà fondues dans d'autres fours. Le *convertisseur* ou *cornue Bessemer*, le *four* ou *convertisseur suédois fixe* et le *convertisseur pour cuivre* appartiennent à cette catégorie de fours. Les deux premiers appareils servent pour la transformation de la fonte en fer malléable (fer fondu), le troisième est employé pour la transformation en cuivre brut du sulfure de cuivre ou de sulfures métalliques contenant du cuivre.

La disposition du **convertisseur Bessemer**, dans lequel la chaleur nécessaire est dégagée principalement par l'oxydation de silicium ou de phosphore, est mise en évidence par la figure 289.

Le convertisseur est suspendu sur les tourillons *f* et *e* et à l'aide de dispositifs mécaniques, on peut le faire tourner de façon que le fer brut fondu puisse y être déversé ou que le fer malléable puisse en être écoulé.

Il se compose d'une enveloppe en fer doux garnie intérieurement de matières réfractaires, d'un fond réfractaire et d'une boîte à vent reliée à ce dernier, ainsi que de la conduite amenant le vent. Le revêtement réfractaire est, suivant la nature du procédé à appliquer, soit acide, c'est-à-dire riche en acide silicique, soit basique, c'est-à-dire riche en chaux ou en dolomie calcinée. Le vent pénètre par le fond *b* de la cornue. Au-dessous de ce fond se trouve la boîte à vent *d*, dans laquelle débouche la conduite *g* amenant le vent. Cette dernière tourne avec la cornue et traverse le tourillon creux *f*. De la boîte *d*, le vent pénètre dans la cornue par une série d'ouvertures *c*, qui sont pratiquées dans le revêtement réfractaire du fond *b*. Il doit, on le comprend, posséder la pression nécessaire pour pouvoir passer à travers les masses liquides. Les produits gazeiformes de l'opération s'échappent par le col de la cornue. L'action de l'air introduit sur le silicium ou le phosphore contenus dans le fer, lesquels sont oxydés et transformés en acide silicique ou en acide phosphorique, ainsi qu'un surchauffage du fer phosphoreux avant son introduction dans le convertisseur fournissent la chaleur nécessaire pour le maintien des masses à l'état liquide, c'est-à-dire pour l'exécution de l'opération.

Le four ou **convertisseur suédois** n'est plus actuellement que peu employé. C'est en quelque sorte un four à cuve cylindrique à creuset, dans lequel la fonte liquide est déversée par une ouverture latérale et transformée, au moyen d'air soufflé sous pression dans sa masse, en fer malléable (fer fondu). Le vent est amené dans une caisse en fer disposée autour de



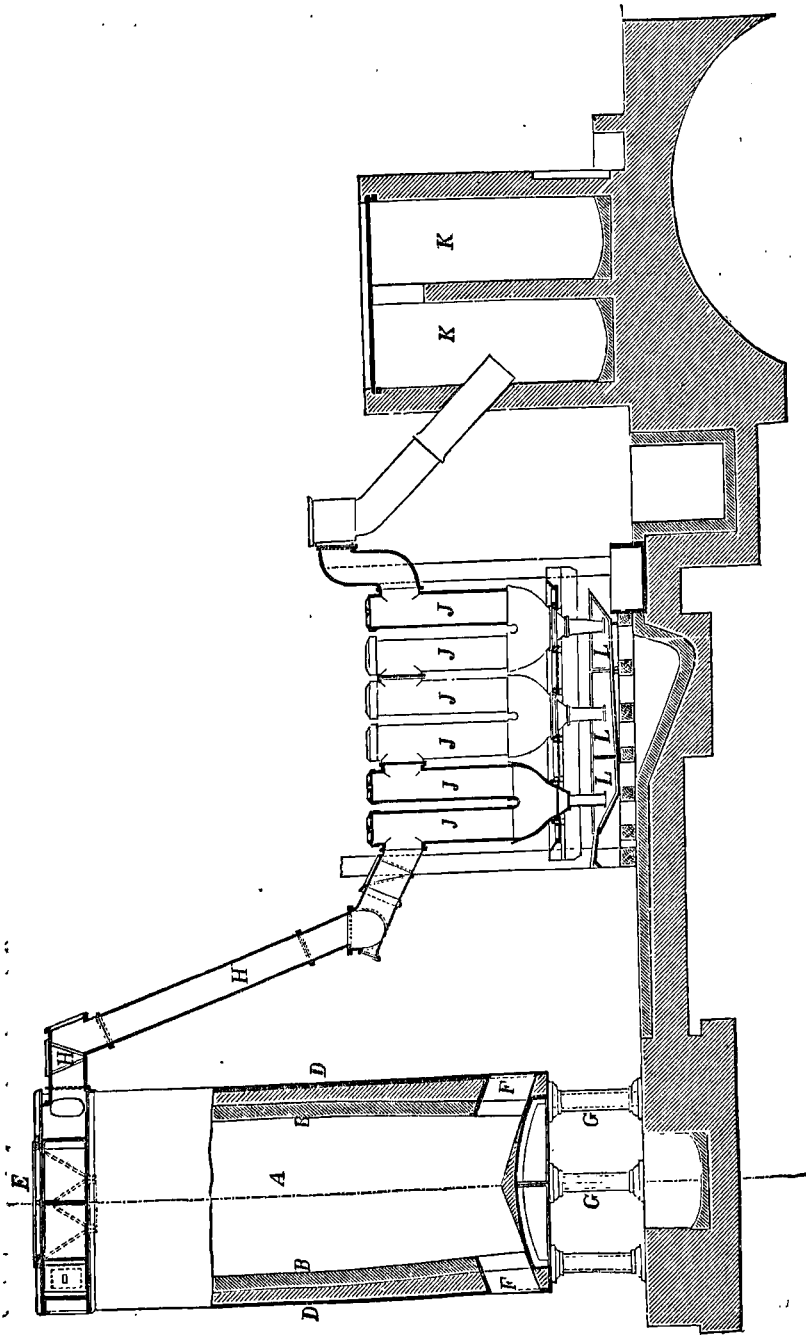


Fig. 288. — Appareils de condensation d'un four de Novak (ancienne disposition).

la partie inférieure du four et de cette caisse il pénètre dans ce dernier,

c'est-à-dire dans la fonte liquide, par une série d'ouvertures latérales. Les produits gazeiformes de l'opération s'échappent par un conduit dont la voûte du four est pourvue, tandis que le fer malléable est évacué par un trou de coulée. La disposition du four est mise en évidence par les figures 290 et 291. *S* est le four en briques réfractaires, entouré d'une enveloppe en fer doux. *O* est le dispositif pour l'introduction de la fonte liquide dans le four ; *z* est le trou de coulée pour l'évacuation du fer malléable, *w* est la boîte à vent en fonte qui entoure la partie inférieure du four ; *m, m* sont des tuyères en terre cuite, par lesquelles le vent pénètre de la boîte à

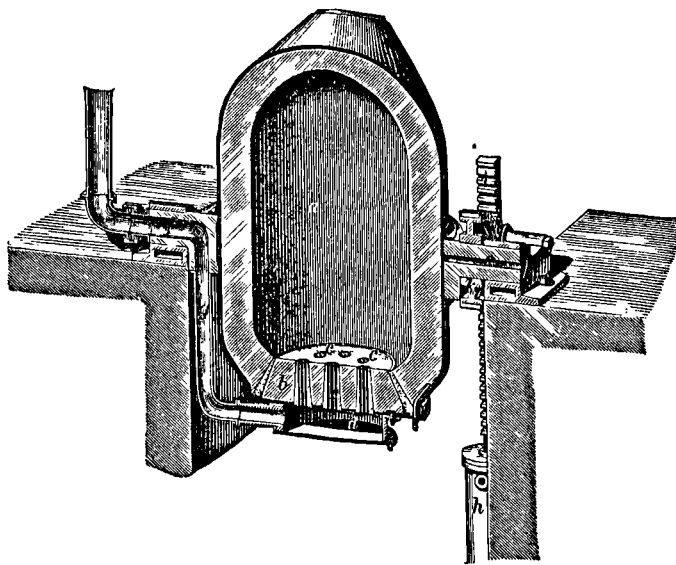


Fig. 289. — Convertisseur Bessemer.

vent dans le four ; *K* est le conduit par lequel s'échappent les produits gazeiformes ; *p, p* sont des regards ménagés en face de chaque tuyère dans la paroi extérieure de la boîte à vent et permettant de les visiter et de les changer, si c'est nécessaire. On pratique dans ce dispositif les mêmes opérations que dans le convertisseur Bessemer.

Le convertisseur pour cuivre<sup>4</sup> est disposé d'une façon analogue à celle du convertisseur Bessemer proprement dit, seulement il est beaucoup plus petit et le vent *y* est introduit d'une autre manière. Le vent est, en effet, introduit, non pas par le fond, mais par la paroi latérale, parce que sans cela le cuivre séparé sur le fond se solidifierait. Les figures 292 et 293, montrent la disposition d'un pareil convertisseur. Il est pourvu d'un revêtement *f*, formé d'une masse réfractaire (quartzreuse) ; *w* est le tuyau porte-vent mobile avec la cornue ; *z* est la boîte à vent entourant la partie inférieure de cette dernière et de laquelle l'air pénètre, par les buses *d*, dans la

<sup>4</sup> Voy. P. JANNETAZ, *Les convertisseurs pour cuivre*, Paris, CH. BÉRANGER, éditeur.

cornue, c'est-à-dire dans les masses liquides. L'oxydation du soufre fournit la chaleur nécessaire pour maintenir les masses à l'état liquide et effectuer l'opération (extraction du cuivre des sulfures métalliques).

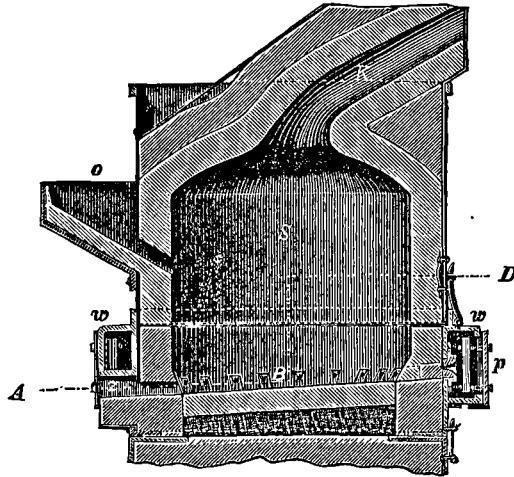


Fig. 290. — Four ou convertisseur suédois; coupe verticale suivant EF (fig. 291).

Le convertisseur pour cuivre employé à Anaconda (Montana) est représenté par les figures 294 à 298.

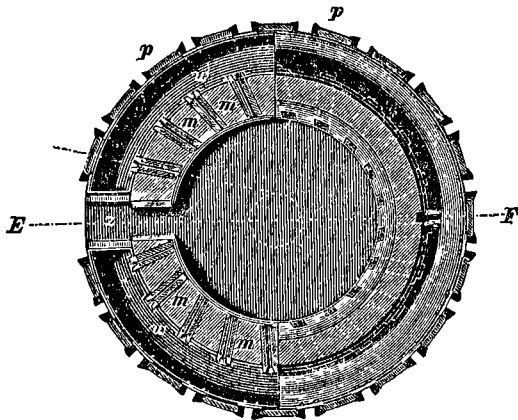


Fig. 291. — Four ou convertisseur suédois; coupe horizontale suivant ABD (fig. 290).

Au lieu de cornues ou poires, on emploie aussi des cylindres horizontaux tournant autour de leur axe. Un pareil convertisseur est représenté par la figure 299. Dans cet appareil, les tuyères se trouvent sur l'un des côtés du cylindre. La boîte à vent tourne avec ce dernier. En faisant tourner le cylindre, on peut diriger le vent dans le point que l'on désire. On est, par



qu'ils se dirigent d'un côté du four vers le côté opposé) et ils en sortent par le gueulard ou par des carneaux particuliers, tandis que les corps à chauffer sont chargés par le gueulard et se meuvent de haut en bas sous

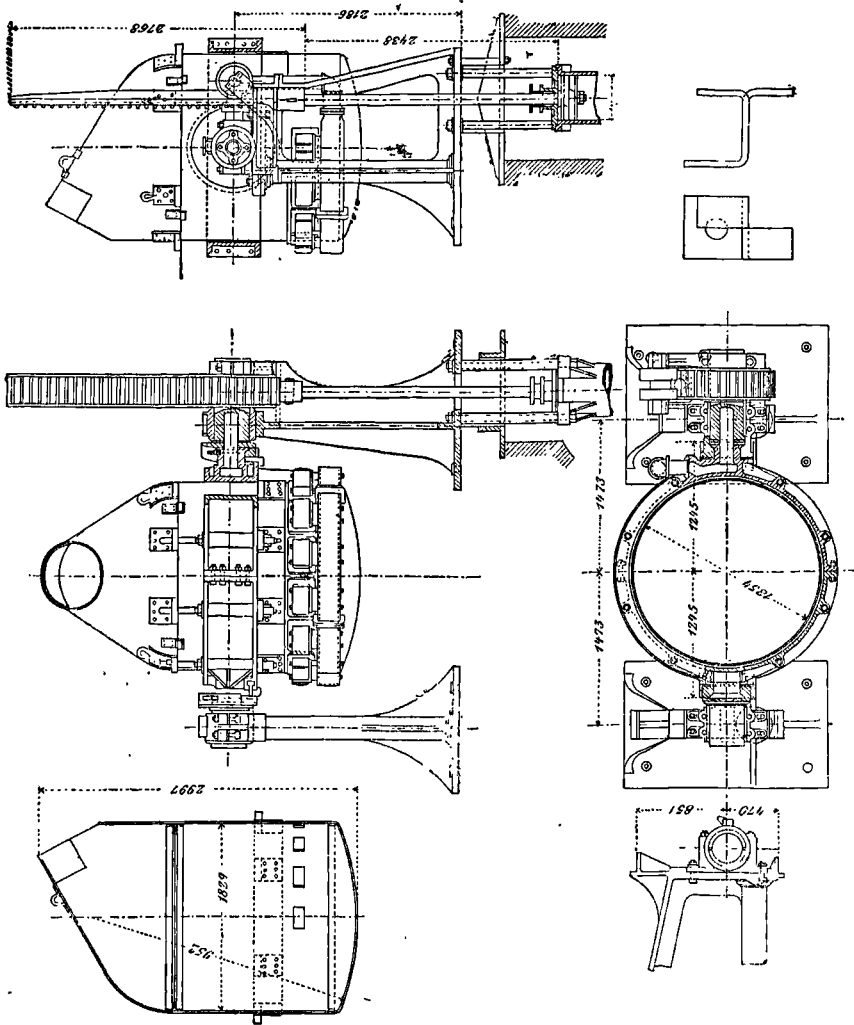


Fig. 294 à 298. — Convertisseur pour cuivre des usines de Montana.

l'influence de la pesanteur, ou bien glissent de haut en bas sur des tablettes.

Les fours à flamme à cuve sont munis inférieurement de foyers à grille ou bien ils sont chauffés au moyen de gaz, qui est introduit et uniformément réparti dans la partie inférieure du four et brûlé par l'air que l'on fait arriver en même temps dans l'appareil.

**Fours à flamme à cuve pour les opérations de calcination.**

On distingue ces fours en fours pour le chauffage des corps en morceaux et fours pour le chauffage des corps pulvérulents.

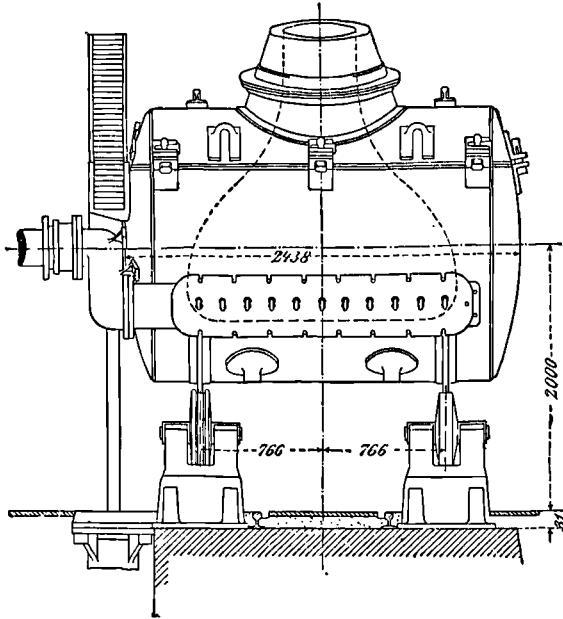


Fig. 299. — Convertisseur cylindrique pour cuivre de Mahnès-David.

**Fours à flamme à cuve pour le chauffage des corps en morceaux.**

*Fours avec foyers à grille.*

On emploie ces fours pour le grillage des minerais de fer et pour la calcination de la calamine.

Le foyer se trouve à l'intérieur de la cuve ou dans les parois de celle-ci. Dans le premier cas, il n'y a qu'une seule grille munie d'un toit, tandis que dans le second il y a plusieurs grilles (ordinairement trois), par conséquent plusieurs foyers, qui sont établis dans la partie inférieure du mur du four à égale distance les uns des autres.

Un four avec *foyer intérieur*, qui maintenant n'est plus que rarement employé pour le grillage des minerais de fer (en Suède), est représenté par les figures 300 et 301. *S* est la cuve, *r* la grille, *p* le cendrier et *t* le toit disposé au-dessus de la grille. Celui-ci est en fonte et repose sur des piliers en fonte *m*.

La flamme passe entre ces piliers, pénètre dans la cuve et monte dans celle-ci. Les minerais grillés sont retirés par les ouvertures *o, o*.

Les figures 302 et 303 représentent un four avec *foyers latéraux*, qui

sert également pour le grillage des minerais de fer et offre une grande analogie avec un four à chaux. S est la cuve. Dans la partie inférieure de

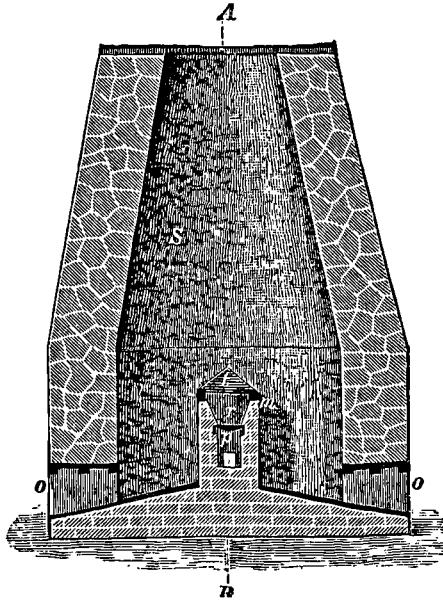


Fig. 300. — Four à cuve à flamme avec foyer intérieur ; coupe verticale.

celle-ci, il y a trois foyers à grille  $r, r$ , dont chacun est muni d'un cendrier, ainsi que trois ouvertures  $p, p, p$ , pour retirer le produit du grillage. Ce dernier s'éboule régulièrement vers les ouvertures  $p$  sur les plans inclinés

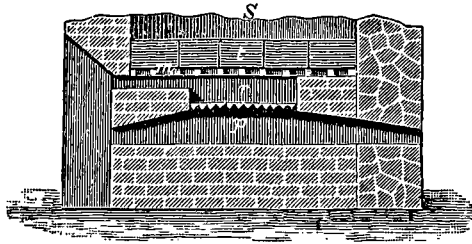


Fig. 301. — Four à cuve à flamme avec foyer intérieur ; coupe verticale AB (fig. 300).

$v, v, v$ , qui se trouvent sur la sole du four. Celui-ci possède une chemise intérieure  $k$  et un muraillement  $R$ . Dans ce dernier, sont ménagées des galeries voûtées, par lesquelles on arrive aux ouvertures de décharge et aux foyers.

#### *Fours avec chauffage au gaz.*

Les fours à cuve à flamme avec chauffage au gaz trouvent emploi pour le grillage des minerais de fer. On se sert, comme gaz, des gaz de gueulard des hauts fourneaux à fer (qui dans ce cas remplacent les foyers).

La figure 302 représente un pareil four, celui de WESTMANN, qui est employé en Suède pour le grillage des minerais de fer. Les gaz de gueulard arrivent d'abord dans un tuyau *c* entourant la partie inférieure du

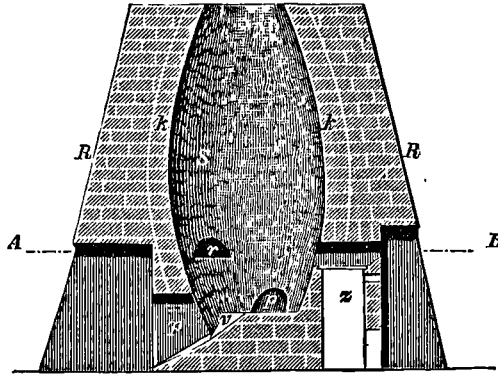


Fig. 302. — Four à cuve à flamme avec foyers latéraux; coupe verticale suivant C D (fig. 303).

four et, par les ajutages *d*, ils pénètrent dans des canaux verticaux *e*, ménagés dans la maçonnerie du four, et de ceux-ci ils passent dans les canaux horizontaux *f*, débouchant dans le four. Ces derniers sont établis dans le muraillement du four, de façon que de l'extérieur on puisse y pénétrer à

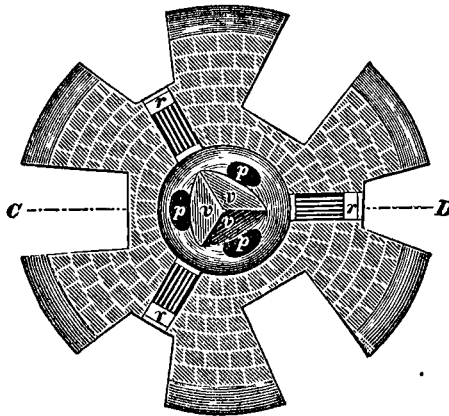


Fig. 303. — Four à cuve à flamme avec foyers latéraux; coupe horizontale suivant A B (fig. 302)

l'aide d'outils et en éliminer les dépôts qui ont pu s'y former. Au-dessous des canaux d'entrée du gaz se trouvent des ouvertures *b* pour retirer le produit du grillage. Ces ouvertures servent en même temps pour l'entrée de l'air de combustion. Au-dessus des ouvertures d'entrée du gaz, il y a deux séries d'ouvertures *h* et *i*, par lesquelles on peut également intro-



duire des outils dans le four, afin d'en éliminer les dépôts ou empêcher qu'il ne se produise des perturbations dans la marche du travail. Pour

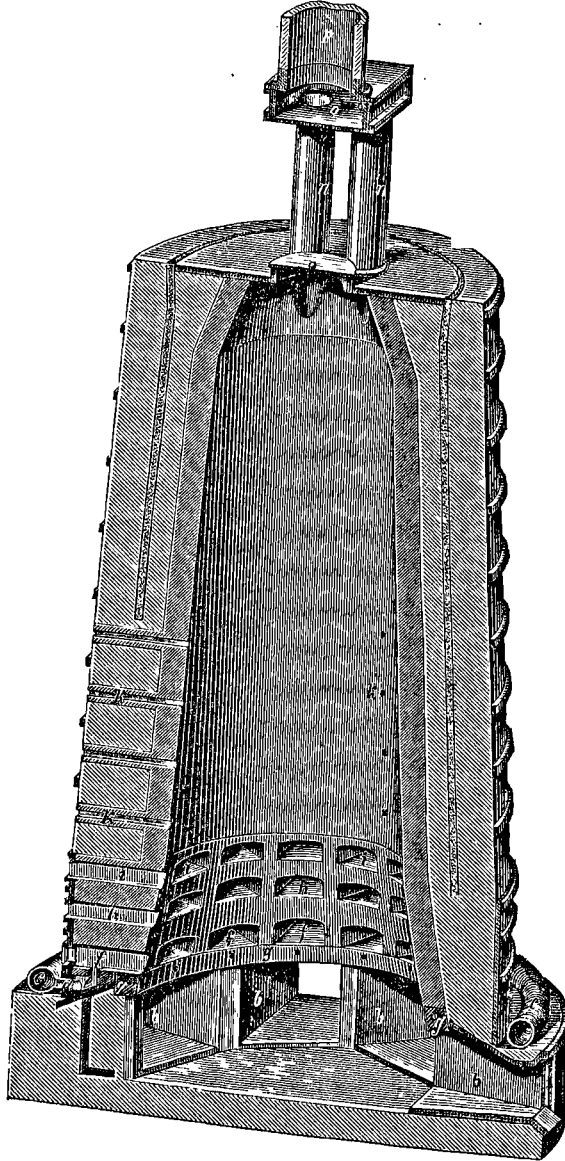


Fig. 304. — Four à flamme à cuve avec chauffage au gaz (four de Westmann).

observer les processus qui se passent à l'intérieur du four, on a ménagé des regards à différentes hauteurs au-dessus des ouvertures dont il vient

d'être question. La cuve du four s'élargit vers la partie inférieure, afin d'éviter l'accrochage des minerais.

*Fours à flamme à cuve pour corps métalliques pulvérulents.*

Ces fours sont employés pour le grillage des sulfures métalliques et des minerais de fer. Ils peuvent être chauffés aussi bien par un foyer à grille qu'au moyen du gaz. Le chauffage par le gaz n'est que rarement employé et seulement lorsqu'on dispose de gaz de gueulard. Les corps à chauffer

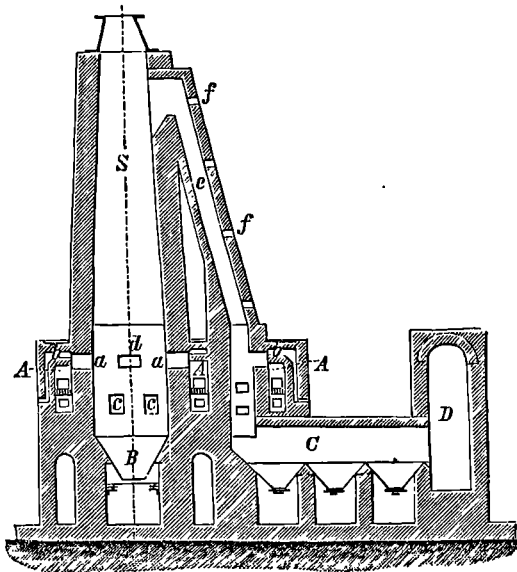


Fig. 305. — Four à flamme à cuve pour minerais pulvérulents (four de Stetefeldt)

tombent librement en s'ébouillant dans la cuve ou sont poussés sur des tablettes superposées.

Un four dans lequel les corps à griller tombent librement dans la cuve est le *four de STEFELDT*, qui est employé aux États-Unis de l'Amérique du Nord pour le grillage chlorurant des minerais d'argent.

Ce four représente une cuve avec foyers à grille latéraux, dans lequel tombe librement le minerai à griller, pendant que les gaz des foyers montent. Par une ouverture ménagée dans la partie supérieure de la cuve, les gaz se rendent dans une deuxième cuve, également munie de foyers latéraux, où ils descendent et arrivent ensuite dans une chambre à poussières, composée de plusieurs compartiments. Cette chambre est en communication avec une haute cheminée. Le minerai pulvérulent tombe sur la sole de la première cuve et les particules entraînées par le courant gazeux se précipitent sur la sole de la deuxième cuve et dans les chambres à poussières. Le four est représenté par la figure 305. S est la cuve principale; e la seconde cuve; A, A sont les foyers à grille, b, b les ouvertures



**Fours à flamme à cuve pour opérations de fusion.**

On n'emploie pas pour les opérations de fusion de fours à flamme à cuve.

**Fours à flamme à cuve pour opérations de vaporisation.**

Ces fours trouvent emploi pour l'extraction du mercure du cinabre et aussi bien avec des minerais en morceaux qu'avec des minerais menus.

*Fours pour minerais en morceaux.*

Ces fours n'offrent guère de différence avec les *fours de grillage* pour minerais en morceaux, seulement ils sont munis d'un blindage en fer, afin

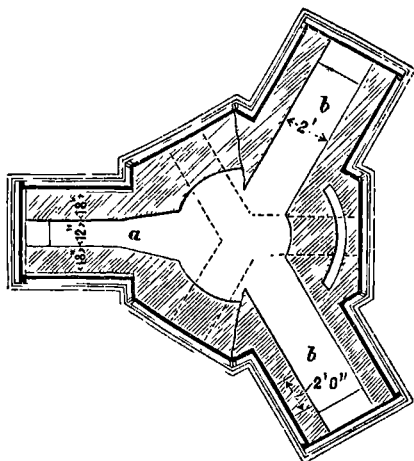


Fig. 307. — Four à flamme à cuve pour minerais en morceaux; coupe horizontale.

d'éviter des pertes de mercure, et de dispositifs de condensation pour recueillir les vapeurs mercurielles.

Les figures 306 et 307 représentent la disposition d'un pareil four, le four d'EXELI, qui est en usage à Idria. S est la cuve entourée d'un blindage en fer. Elle est pourvue de trois foyers à grille *a* et de trois ouvertures *b*, placées au-dessous de ces derniers et qui servent pour retirer les résidus solides. Le guculard du four est maintenu fermé et il est muni d'un dispositif de chargement. Les vapeurs dégagées se rendent par le tube *e* dans les appareils de condensation (non visibles dans les figures). Les résidus retirés par les ouvertures *b* tombent dans l'espace *c* (qui sert en même temps de cendrier), où ils se refroidissent en abandonnant leur chaleur à l'air de combustion arrivant sous la grille. Lorsqu'on veut extraire les résidus du four, on introduit par la porte *d* des instruments convenables dans les ouvertures de déchargement *b*.

Dans les anciens fours (New-Almaden, en Californie), deux parois de cuve opposées sont munies d'ouvertures dans toute leur hauteur. La flamme pénètre par une paroi et sort par l'autre, et suit par conséquent une direction horizontale.

*Fours pour minerai menu.*

Les fours à cuve à flamme de cette espèce offrent une grande analogie avec les fours à cuve de grillage pour les corps pulvérulents. Ici, les cuves

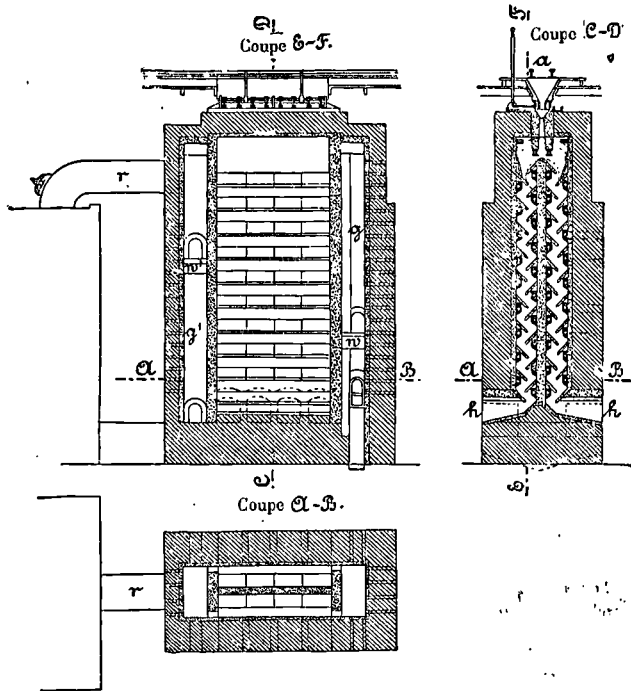


Fig. 308 et 309.

Fig. 310.

Fig. 308. — Four à flamme à cuve pour minerai menu (four à granzita); coupe longitudinale suivant E F (fig. 310).

Fig. 309. — Four à flamme à cuve pour minerai menu (four à granzita); coupe horizontale suivant A B (fig. 308 et 310).

Fig. 310. — Four à flamme à cuve pour minerai menu (four à granzita); coupe transversale suivant C D (fig. 308).

ne sont plus libres, mais renferment des obstacles, qui ralentissent la descente du minerai dans la cuve et le disséminent uniformément.

La cuve est verticale ou inclinée.

Un four à cuve verticale, le *four à granzita*<sup>1</sup>, employé en Californie, est représenté par les figures 308 à 310. Le four est armé de plaques de terre

<sup>1</sup> On désigne sous le nom de *granzita* le minerai menu à gros grains.

cuite inclinées de  $45^\circ$ , disposées comme le montre la figure 310 et sur lesquelles le minerai s'éboule périodiquement, ce qui a lieu dès que les résidus de la distillation sont retirés du four. Dans d'autres fours (*fours à tierras*<sup>1</sup>), l'extraction des résidus de la distillation, qui entraîne la descente des minerais, est effectuée à l'aide d'appareils à secousses. Les plaques supérieures devenues libres par suite de la descente du minerai sont chargées à nouveau. Le minerai est introduit dans la cuve par la trémie *a*. Les gaz du foyer et l'air suivent une marche inverse à celle du minerai, en touchant les plaques aussi bien au-dessous qu'au-dessus. La voie qu'ils doivent suivre est déterminée par les cloisons *w* et *w'*. De la grille qui se trouve

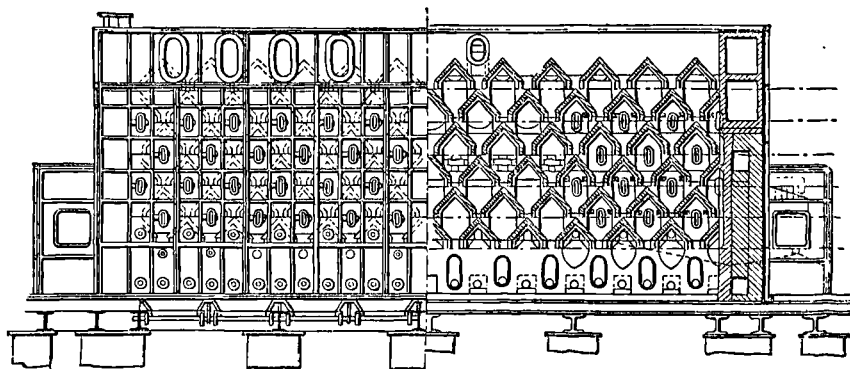


Fig. 311 et 312. — Four à flamme à cuve de Czermak-Spirek pour minerai menu ; vue extérieure et coupe longitudinale,

au-dessous de *w*, ils passent dans l'espace *g'*, enveloppent par conséquent le premier tiers du four ; comme *w'* les empêche de monter plus haut dans *g'*, ils se rendent par le second tiers du four dans l'espace *g* et de celui-ci, par le dernier tiers, dans le tube *r*, qui les conduit dans les appareils de condensation. Les résidus de la distillation sont retirés toutes les quarante minutes, après quoi le four est rechargé d'une quantité de minerai égale à celle des résidus extraits.

Le nouveau four pour minerai menu de CZERMAK-SPIREK, qui trouve emploi à Idria et en Italie (Monte-Amiata), se compose de toits superposés en terre réfractaire, sur lesquels le minerai s'éboule périodiquement. Comme dans le four à granzita, la flamme circule de bas en haut, de façon à toucher le minerai dans le sens horizontal. Une vue et une section longitudinales du four sont représentées par les figures 311 et 312.

Comme four avec sole inclinée, nous mentionnerons le four de LIVERMOORE, qui est employé en Californie pour l'extraction du mercure. Il est représenté par la figure 313. *S* est la cuve inclinée. Elle est chauffée par le foyer à grille *R*, commun à toute une série de petites cuves (de 16 centimètres de longueur). *v, v* sont des obstacles en terre réfractaire, qui ont pour but de disséminer le minerai et de le retenir dans la cuve ; *z, z* sont des saillies de même matière, qui sont destinées à diriger la flamme sur le

<sup>1</sup> Les *tierras* sont des minerais grains fins.

minéral. Ce dernier est chargé par *w*. Les résidus de la distillation passent par le canal *u* dans la chambre B, d'où ils sont retirés.

Les vapeurs de mercure se rendent, avec les produits gazéiformes de la combustion, par le canal *y*, partant de l'extrémité supérieure de la

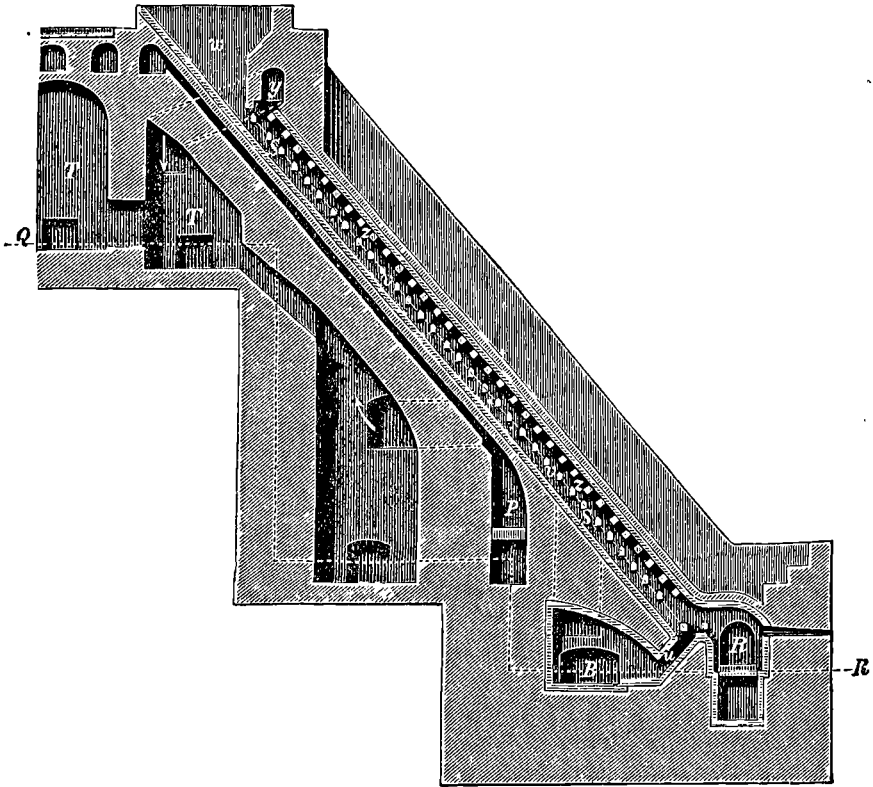


Fig. 313. — Four à flamme à cuve avec sole inclinée (four de Livermoore).

cuve, dans les condensateurs T, T. P est un deuxième foyer à grille, à l'aide duquel on peut, lorsqu'on le juge nécessaire, chauffer le côté inférieur incliné de la cuve. (Cette dernière disposition donne aussi à ces fours le caractère des fours à vases.)

#### B. — FOURS A FLAMME A SOLE OU FOURS A RÉVERBÈRE

Dans les fours à flamme à solc, les gaz de chauffage traversent des chambres horizontales ou légèrement inclinées, sur la sole desquelles se trouvent les matières à chauffer. Le chauffage de ces dernières a lieu partie par le contact immédiat de la flamme et des produits gazéiformes de la combustion, partie par la chaleur radiante de la voûte et des parois de la chambre, ainsi que de la flamme. A cause de la grande part que prend

au chauffage la chaleur radiante, on donne ordinairement aux fours à flamme à sole le nom de **fours à réverbère**.

Comme dans ces fours le chauffage a lieu surtout par la partie supérieure, la chaleur ne peut pas y être utilisée au même degré que dans les fours à cuve et les fours à flamme à cuve.

L'utilisation de la chaleur est surtout défavorable lorsqu'une température uniforme doit régner dans tout l'espace ou le laboratoire à chauffer, comme cela est nécessaire pour les opérations de fusion et aussi pour un grand nombre d'opérations de calcination. Dans ce cas, les produits gazeux de la combustion doivent sortir du four avec la même température ou avec une température plus haute que celle que nécessite l'opération qui est pratiquée dans le four.

L'utilisation de la chaleur est plus favorable lorsqu'il n'est pas nécessaire qu'il y ait dans le four des températures uniformes et lorsque les corps à chauffer sont poussés peu à peu des parties les plus froides du laboratoire vers ses parties les plus chaudes. Ce cas, dans lequel les corps à chauffer circulent en sens inverse des gaz chauffants, où par conséquent est appliqué à un certain degré le principe du contre-courant, se présente dans un grand nombre d'opérations de grillage. Lorsque le laboratoire a une longueur suffisante, les produits gazeux de la combustion en sortent avec une température relativement basse.

Afin de ne pas perdre la chaleur des gaz de la combustion sortant du four, lorsqu'on travaille à de hautes températures, on emploie ces gaz (jusqu'à la température nécessaire pour maintenir le tirage de la cheminée) pour le chauffage de chaudières à vapeur, de fours à dessiccation, de fours de grillage, de gazogènes (LÜRMANN), ou, lorsqu'on se sert du chauffage au gaz, pour chauffer les régénérateurs dont il a été question précédemment et, après qu'ils ont abandonné leur excès de chaleur, ils passent dans la cheminée avec une température de 200-300°.

Avec le chauffage au moyen de foyers à grille, on ne peut pas avoir recours aux régénérateurs qui servent pour le réchauffage des combustibles et de l'air de combustion, à cause de l'état d'agrégation solide des combustibles et de la destruction rapide des barreaux de la grille par l'air chaud.

L'effet utile des fours à réverbère s'élève à 8-10 p. 100. Lorsqu'on utilise les flammes perdues pour le chauffage du gaz et de l'air, il monte à 14-18 p. 100.

Les fours à réverbère ont sur les fours à cuve l'avantage de permettre de surveiller les opérations qui y sont effectuées et d'employer pour le chauffage des combustibles bruts.

Tout four à réverbère se compose de trois parties principales : le *dispositif de chauffage*, l'espace dans lequel a lieu le chauffage des corps à traiter, le *laboratoire*, et le *dispositif pour l'entraînement des produits gazeux de la combustion et des autres gaz et vapeurs dégagés pendant le chauffage*.

#### *Dispositif de chauffage.*

Lorsqu'on se sert de combustibles *solides*, on emploie ordinairement un **foyer à grille**; ce n'est qu'exceptionnellement qu'on a recours à des



foyers sans grille. Quand on se sert de combustibles liquides, le dispositif de chauffage se compose des appareils nécessaires pour l'apport et la pulvérisation du combustible liquide, ainsi que des appareils destinés à l'apport de l'air et enfin de l'espace où a lieu la combustion. Lorsqu'on emploie des combustibles gazeux, le dispositif de chauffage se compose, abstraction faite du gazogène, des appareils pour l'apport et le réchauffage des gaz combustibles, pour l'apport et le réchauffage de l'air de combustion, ainsi que de l'espace où la combustion a lieu. Avec les combustibles liquides et les combustibles gazeux, l'espace où a lieu la combustion est en même temps celui dans lequel la chaleur doit être utilisée, c'est-à-dire le laboratoire des fours à réverbère.

Ces différents dispositifs de chauffage ont été décrits précédemment (voy. Chap. IV).

On emploie le *foyer à grille*, lorsque de très hautes températures ne sont pas nécessaires et lorsqu'il n'y a pas d'inconvénient à ce que les corps à chauffer soient salis par la cendre entraînée par les gaz du foyer.

On a recours au *chauffage par les combustibles liquides*, dans les contrées où ceux-ci sont à bon marché, surtout dans les régions pétrolifères.

On emploie le *chauffage au gaz* lorsqu'on veut produire de hautes températures, lorsque de grands espaces doivent être chauffés dans tous les points à une température uniforme et lorsque les corps à chauffer ne doivent pas être mis en contact avec les cendres entraînées.

Lorsque le dispositif de chauffage employé est un *foyer à grille*, celui-ci est établi à côté de l'espace à chauffer. On se sert alors de combustibles *non carbonisés*. Comme les combustibles carbonisés ne contiennent pas d'hydrocarbures, ils produisent une chaleur moins intense que les combustibles non carbonisés et, si la combustion du carbone est complète, ils brûlent sans flamme.

Avec le foyer à grille, la flamme sort du foyer pour pénétrer dans l'espace à chauffer, dans le laboratoire, en passant par dessus un mur peu élevé, désigné sous le nom de **pont de chauffe** ou **autel**. L'ouverture par laquelle la flamme pénètre dans le laboratoire est appelée **passage de la flamme**. Par une ou plusieurs autres ouvertures dont est muni le laboratoire, ouvertures auxquelles on donne le nom de **trous des rampants**, les produits gazeux de la combustion et les gaz et les vapeurs dégagés par les corps chauffés se rendent dans la cheminée, soit directement, soit après avoir traversé des dispositifs dans lesquels est utilisée la chaleur des gaz chauds ou dans lesquels sont séparés de ces derniers les poussières ou les éléments nuisibles (acide sulfureux, acide chlorhydrique). Dans certains cas, le four possède deux foyers à grille placés vis-à-vis l'un de l'autre, dans lesquels on fait du feu en même temps. Le ou les rampants se trouvent alors dans le milieu de la couverture ou voûte du laboratoire.

Comme **combustibles liquides**, on emploie le *naphte* et les *résidus de naphte*.

Pour le **chauffage au gaz**, on se sert de gaz de gazogènes, de gaz à l'eau, de gaz mixte et d'hydrocarbures naturels.

Lorsqu'on a recours au *gaz de gazogène*, le gazogène est établi immédiatement à côté du laboratoire ou isolé de ce dernier.

Lorsqu'on emploie le *gaz à l'eau*, le gazogène est toujours isolé.

Les *hydrocarbures gazeux naturels* sont amenés aux fours au moyen de conduites tubulaires, et souvent à de grandes distances.

Les gaz et l'air de combustion ne se réunissent que dans le laboratoire lui-même ou bien ils se mélangent immédiatement avant ce dernier dans un canal y conduisant. Les produits gazéiformes de la combustion passent par une ou plusieurs ouvertures du laboratoire dans la cheminée, directement ou après avoir traversé des dispositifs pour la séparation des poussières ou des éléments nuisibles, ou dans des appareils où leur chaleur est utilisée, surtout dans des régénérateurs.

L'emploi du *chauffage Siemens* avec régénérateurs, décrit précédemment (Chap. IV), exige des gazogènes isolés (pour la séparation préalable du goudron d'avec le gaz). Comme on l'a déjà expliqué, il exige aussi un renversement périodique de la direction du courant gazeux et du courant d'air ou du courant des gaz brûlés. Les ouvertures d'entrée pour les gaz frais et l'air ou les ouvertures de sortie des gaz brûlés doivent par conséquent être aussi changées de temps en temps.

Si l'air doit seul être chauffé dans les régénérateurs, les ouvertures d'entrée de l'air et les ouvertures de sortie pour les produits gazéiformes de la combustion doivent, dans quelques modes de chauffage au gaz, être changées de temps en temps.

#### *Laboratoire.*

L'espace qui doit être chauffé, le **laboratoire**, est une chambre construite en matériaux réfractaires avec les ouvertures nécessaires pour l'entrée de la flamme ou des combustibles liquides et gazéiformes, de l'air pour brûler les combustibles ou oxyder certains corps, pour la sortie des produits gazéiformes de la combustion, pour l'introduction et le travail des corps à chauffer et pour l'élimination des produits solides et liquides du chauffage. Comme on l'a déjà dit, on nomme **passage de la flamme** l'ouverture par laquelle, dans les fours avec foyers à grille, la flamme pénètre dans le laboratoire, et on appelle **trous des rampants** la ou les ouvertures par lesquelles s'échappent les gaz brûlés. On donne aux ouvertures par lesquelles on introduit les outils pour le travail des masses le nom d'**ouvertures de travail**. La partie inférieure du laboratoire qui reçoit les corps à chauffer, est appelée **sole** et sa partie supérieure **couverture** ou, si elle est voûtée, **voûte**.

On distingue les *laboratoires fixes*, en outre les *laboratoires dont, pendant le travail, une partie est fixe, tandis que l'autre se meut*, et les *laboratoires qui pendant le travail se meuvent tout entiers*.

#### *Laboratoires fixes.*

Les **laboratoires fixes** sont en communication immédiate aussi bien avec le dispositif de chauffage qu'avec le carneau par lequel s'échappent les produits gazéiformes de la combustion, carneau qui est désigné sous le nom de **rampant** ou *renard*. Ils représentent, pour ainsi dire, un canal par lequel les gaz chauffants passent du foyer dans le rampant. Pour certaines opérations (calcinations), on établit volontiers plusieurs laboratoires l'un

au-dessus de l'autre. Ces chambres sont chauffées par un seul foyer, dans lequel cas la flamme ou les produits de la combustion passent par la couverture de la chambre inférieure dans la chambre supérieure, ou bien chaque chambre possède un dispositif de chauffage particulier. Ordinairement, dans ces cas, les corps chauffés dans la chambre supérieure sont, par des ouvertures particulières dans la sole de cette chambre ou le toit de la chambre inférieure, déversés dans cette dernière.

La *forme et la grandeur des chambres* dépendent de la nature de l'opération qui doit y être effectuée, du degré de la température à employer, ainsi que du mode de chauffage.

Le laboratoire est circulaire, elliptique, rectangulaire, carré, non symétrique, annulaire ou en forme de fer à cheval. Le laboratoire doit être d'autant plus petit que la température à y produire doit être plus élevée. Pour les fusions, sa longueur va jusqu'à 10 mètres, sa largeur jusqu'à 5 mètres (fours à cuivre américains). Pour les grillages, la longueur va jusqu'à 55 mètres (fours en fer cheval), la largeur jusqu'à 4,88 mètres (four américain pour le grillage des minerais de cuivre).

La sole représente une surface plane, lorsque les corps à chauffer sont solides et que le chauffage ne change pas leur état d'aggrégation. S'il se produit une fluidification de corps solides, la sole est excavée ou, étant inclinée, elle est d'abord plane et ensuite munie à son extrémité inférieure d'une excavation (bassin).

Si le côté inférieur de la sole doit être refroidi ou chauffé, on établit celle-ci sur des plaques, au-dessous desquelles on laisse un espace libre où on dispose un système de canaux. Le refroidissement est alors produit par l'air sur le côté inférieur libre de la sole ou bien le chauffage de celle-ci est effectué par les gaz du foyer sortant du laboratoire.

La *couverture du laboratoire* ou la *voûte de la sole* est formée de briques réfractaires ou de fer revêtu sur sa face interne de matières réfractaires. Elle représente un dôme, ou dans la plupart des cas une voûte cylindrique. Très fréquemment la voûte de la sole s'étend aussi sur le dispositif de chauffage. La couverture du laboratoire est fixée invariablement aux parois latérales, ou bien au contraire elle peut être soulevée partiellement ou entièrement. Ces couvertures mobiles (chapiteaux ou chapeaux) sont entièrement formées de tôle de fer, munie d'un revêtement réfractaire ou d'une charpente en fer doux dans laquelle sont placées des briques réfractaires. On les emploie pour les laboratoires, dont la sole a besoin d'être fréquemment renouvelée, de sorte qu'après l'enlèvement du couvercle, le laboratoire se refroidit rapidement et il est alors possible de renouveler la sole commodément et rapidement (fours de coupellation, fours à raffiner l'argent brut, fours d'affinage et de raffinage).

Pour les voûtes qui sont reliées invariablement avec les parois latérales du laboratoire, les lignes génératrices sont soit perpendiculaires, soit parallèles à l'axe du four. Dans le premier cas, dans lequel les pieds droits de la voûte reposent sur le côté du foyer et le côté du rampant, les rayons calorifiques sont plus réfléchis sur toute la surface de la sole et sur les parois latérales du laboratoire que dans le second cas, dans lequel ces mêmes rayons sont plus renvoyés vers l'axe de l'enceinte et ne tombent pas du tout sur les parois latérales. Cependant, afin d'assurer au four une

plus longue durée, on donne la préférence aux voûtes de la seconde espèce. La hauteur de la voûte au-dessus de la sole doit être au moins assez grande pour que les corps à chauffer puissent être introduits commodément dans le four et qu'ils puissent y être travaillés et en être retirés sans difficulté.

S'il doit régner dans le laboratoire des températures élevées et uniformes, c'est-à-dire s'il doit être brûlé dans l'unité de temps de grandes quantités de combustible, on augmente la capacité du four, après avoir atteint la longueur et la largeur permises, en *élevant la voûte*.

Les voûtes faites d'une couche mince de briques réfractaires, qui sont refroidies par l'air, sont les plus résistantes.

Les voûtes d'un grand nombre de laboratoires sont munies d'ouvertures, par lesquelles sont introduits dans ces derniers les corps à chauffer, et que l'on peut ensuite fermer.

Les *parois* des laboratoires sont en maçonnerie, en briques ou en fer, ce dernier étant refroidi avec de l'eau.

Les parois doivent être disposées de façon que la chaleur absorbée par elles soit rayonnée sur la sole de la manière la plus simple.

Dans les *dispositifs de chauffage avec grille*, la portion de paroi qui sépare le laboratoire du foyer est désignée sous le nom de *pont de chauffe* ou d'*autel*. L'ouverture qui se trouve entre la surface supérieure du pont de chauffe et la voûte du laboratoire, est appelée, comme on l'a déjà dit, *passage de la flamme*. Lorsqu'on emploie de hautes températures, le pont de chauffe est creux et refroidi au moyen d'air ou d'eau. Plus est grande la hauteur à laquelle se trouve au-dessus de la sole l'arête supérieure du pont de chauffe, plus est difficile le chauffage des corps qui se trouvent sur celle-là. La distance entre l'arête supérieure du pont de chauffe s'élève, suivant l'intensité de chauffage que l'on désire, de quelques centimètres à un demi-mètre.

Plus est grande la hauteur à laquelle l'arête supérieure du pont de chauffe se trouve au-dessus de la sole, plus peut être épaisse la couche de combustible chargée sur la grille. Plus la couche de combustible a d'épaisseur, plus complètement est consommé l'oxygène de l'air atmosphérique traversant la grille, moins est grande la quantité de chaleur dégagée et plus est grande l'action réductrice de la flamme. Moins est épaisse la couche de combustible, plus complètement est consommé ce dernier ; plus est élevée la température de combustion et plus est grande l'action oxydante de la flamme.

Si l'on veut obtenir une haute température et une flamme oxydante, on ne laisse qu'une faible distance entre l'arête supérieure du pont de chauffe et la surface de la grille. Si, au contraire, on veut obtenir une flamme neutre ou réductrice, on agrandit cette distance. Celle-ci varie entre 0,3 et 1 mètre.

Lorsqu'on emploie le *chauffage au gaz*, il n'y a plus de pont de chauffe proprement dit. Dans ce cas, le passage de la flamme est remplacé par les ouvertures d'entrée de l'air et du gaz ou, si l'air et le gaz se mêlent avant le laboratoire, par l'ouverture d'entrée de ce mélange ou de sa flamme. Dans nombre de cas, on fait entrer l'air et le gaz par des fentes horizontales dans l'enceinte à chauffer. On place alors la fente pour l'air

au-dessus de la fente pour le gaz et on la fait déborder dans cette dernière. Comme le gaz possède un plus grand volume que l'air, il monte, tandis que l'air descend dans le gaz, de sorte qu'on obtient de cette façon un bon mélange de l'air et du gaz.

Dans un très grand nombre de cas, il se trouve aussi dans les parois du laboratoire des ouvertures pour l'entraînement des produits gazeiformes du chauffage, pour travailler les masses chauffées, pour extraire ces dernières du laboratoire, pour introduire dans ce dernier les corps à chauffer et du vent par tirage naturel ou soufflage.

Très fréquemment, les ouvertures de chargement servent en même temps d'ouvertures de travail.

Plus sont étroites les ouvertures de sortie des gaz, les *trous des rampants*, plus est uniforme la température du four. On donne à ces ouvertures, dans les fours avec foyer à grille, une surface variant entre  $1/16$  et  $1/10$  de la surface totale de la grille. Cette dernière doit être d'autant plus grande que le rendement de la cheminée est plus faible.

Le trou du rampant (ou les trous des rampants) sont ordinairement placés dans la direction de l'axe principal du laboratoire.

Dans quelques systèmes de chauffage au gaz, le trou du rampant, aussi bien que les ouvertures d'entrée des gaz, sont placés sur le même côté du laboratoire.

Dans les fours avec chauffage Siemens, les trous des rampants servent alternativement d'ouvertures d'entrée des gaz frais et de l'air de combustion et d'ouvertures de sortie pour les gaz brûlés.

Si la sole du laboratoire doit aussi être chauffée par en dessous, le rampant est constitué par une fente verticale dans la sole.

Lorsque deux foyers à grille placés vis-à-vis l'un de l'autre chauffent la même enceinte, ainsi que lorsque plusieurs soles superposées doivent être chauffées par un seul foyer, ou lorsque les corps à chauffer ne doivent pas être en contact avec la flamme, le trou du rampant consiste en une fente ménagée dans la voûte du laboratoire.

Dans les laboratoires fixes, la surface des corps qui se trouvent sur la sole est seule chauffée *directement*. Le chauffage des autres parties doit avoir lieu par conduction. Pour favoriser le chauffage, aussi bien que pour produire des réactions chimiques, il est nécessaire dans beaucoup de cas de mettre les corps à chauffer en contact non seulement avec les gaz passant au-dessus de la sole, mais encore les uns avec les autres. On atteint ce but en brassant, tournant, râblant les masses à chauffer par travail manuel à l'aide d'instruments particuliers ou au moyen de machines.

*Laboratoire dont, pendant le travail, une partie est fixe, l'autre étant en mouvement.*

Les laboratoires ainsi disposés ont pour but de soumettre les masses à chauffer à un mouvement continu produit mécaniquement. A cet effet, la *sole du laboratoire tourne autour d'un axe vertical ou incliné*. La section horizontale du laboratoire est circulaire. La rotation est produite par l'engrènement d'un pignon ou d'une vis sans fin dans une couronne dentée concentrique à l'axe de rotation. Pour les calcinations (les grillages), la

sole tout entière est recouverte des corps pulvérulents à chauffer. Ceux-ci, pendant la rotation de la sole, sont brassés et mis en contact avec l'air au moyen d'un râble fixe ou mobile dans la direction radiale. Pour les fusions, la sole n'est qu'en partie couverte par les corps à chauffer. Par suite du changement de position des corps chauffés par la rotation, la sole offre toujours une nouvelle surface et permet un chauffage de la surface précédemment couverte par les corps chauffés.

Les laboratoires de cette espèce ont l'avantage de permettre de remplacer le travail manuel par le travail mécanique, tout en brassant les masses et les chauffant uniformément. Mais ils ont l'inconvénient d'être coûteux à établir et à réparer. C'est pour cela qu'ils ne sont que rarement employés.

*Laboratoires en mouvement pendant le travail.*

On les distingue en laboratoires à mouvement continu et en laboratoires à mouvement périodique.

Les *laboratoires à mouvement continu* ont pour but de produire mécaniquement un brassage et un changement de position des masses à chauffer. Ils sont soumis à un mouvement oscillatoire ou rotatif. Les laboratoires de la première espèce ne sont employés qu'exceptionnellement (four oscillant de MENESSIER). Les laboratoires à *mouvement rotatif* ont été adoptés dans quelques cas. Ils sont cylindriques, ovoïdes, coniques, en forme de tonneau ou d'un double cône. Comme pour les soles mobiles, la rotation est produite par l'engrènement d'un pignon ou d'une vis sans fin dans une couronne dentée concentrique à l'axe de rotation et adaptée sur la périphérie du laboratoire. Dans ces dispositifs, il y n'a plus de distinction à établir entre la sole, les parois latérales et la couverture. Les ouvertures d'entrée pour la flamme ou les gaz et les ouvertures de sortie pour les produits gazeiformes de la combustion sont placées vis-à-vis, au-dessus ou à côté les unes des autres. L'axe du laboratoire est horizontal ou incliné.

Les fours avec ces laboratoires trouvent emploi dans les opérations de calcination et de fusion.

Les *laboratoires qui sont mus périodiquement* ont pour objet de soumettre de temps en temps à un chauffage plus intense des masses qui s'y trouvent. Ils représentent une longue chambre mobile autour d'un axe vertical et pourvue de deux soles placées l'une derrière l'autre. La sole qui se trouve du côté de la chauffe est chauffée plus fortement que celle qui est placée du côté du rampant. Si cette dernière sole doit aussi être chauffée plus fortement, ou tourne le laboratoire de 180°, et l'on amène ainsi la sole qui se trouve du côté du rampant sur le côté de la chauffe et l'autre sole sur le côté du rampant. Les fours avec ces laboratoires trouvent emploi dans le puddlage du fer (four de PIETZKA).

*Dispositif pour l'entraînement des produits gazeiformes de la combustion et des autres gaz et vapeurs dégagés pendant le chauffage*

Ce dispositif consiste généralement en une **cheminée**. Ce n'est qu'exceptionnellement que l'on emploie des exhausteurs ou des souffleries.

Les **trous des rampants** du laboratoire sont mis en communication directe ou indirecte avec la cheminée au moyen de carnaux appelés **rampants**. La communication est directe, lorsque la chaleur perdue (la chaleur des produits gazeiformes de la combustion) ne doit pas être utilisée et que les poussières et les éléments nuisibles ne doivent pas être séparés des gaz du four. Dans les cas contraires, on fait communiquer le laboratoire par le ou les rampants avec des régénérateurs, des foyers ou des chambres à poussières et des appareils condensateurs et, au moyen de canaux, on met ces dispositifs en communication avec la cheminée.

On ne doit pas donner au rampant une trop grande longueur, parce que, autrement, par suite de l'augmentation du frottement gazeux, le travail de la cheminée serait rendu trop grand. Dans certains fours, on fait sortir les scories du laboratoire par le rampant incliné et on les écoule de ce dernier par une ouverture ménagée à cet effet.

Pour régler le tirage, on établit dans les rampants des tiroirs ou registres.

Quant aux cheminées elles-mêmes, elles ont déjà été traitées précédemment (Chap. IV).

#### *Classification des fours à réverbère.*

On distingue les *fours à réverbère pour calcinations, pour fusions et pour vaporisations*. Chacune de ces espèces de fours se distingue à son tour en fours à laboratoire fixe, à laboratoire partiellement mobile et à laboratoire entièrement mobile.

#### **Fours à réverbère pour calcinations.**

On emploie les fours de cette espèce surtout pour le grillage, le soudage, ainsi que pour le réchauffage de métaux et d'alliages.

Le chauffage a ordinairement lieu au moyen d'un foyer à grille ; on a rarement recours au chauffage par le gaz et exceptionnellement aux combustibles liquides.

#### **Fours avec laboratoire fixe.**

On emploie des **fours à laboratoire fixe** pour le grillage de corps métalliques pulvérisés, pour la calcination de la calamine, pour le soudage du fer et pour le réchauffage des métaux. La sole de ces fours est plane. Ils sont rectangulaires, ovales, annulaires, en forme de fer à cheval ou, si toute la surface de la sole doit pouvoir être atteinte avec des outils par une seule ouverture, ils ont une forme non symétrique.

L'introduction des corps à chauffer a lieu par des ouvertures ménagées dans la voûte ou dans les parois latérales du laboratoire, et l'extraction des produits du chauffage par des ouvertures dans les parois latérales ou dans la sole du laboratoire.

#### *Fours de grillage.*

Les **fours de grillage** sont chauffés avec des foyers à grille. Ce n'est qu'exceptionnellement que l'on emploie des combustibles liquides (gril-

lage de minerais de cuivre à Kedabeg, dans le Caucase). Le brassage et le déplacement des masses soumises au grillage sont effectués par travail manuel ou mécaniquement.

Dans les *fours à travail manuel*, la quantité totale du minerai à chauffer

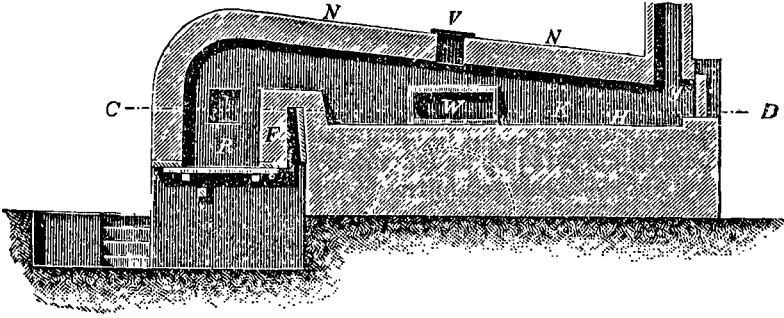


Fig. 314. — Four à réverbère de grillage à travail discontinu (four anglais pour le grillage de la galène); coupe verticale suivant A B (fig. 315).

est chargée en une seule fois dans le laboratoire et le grillage achevé elle en est retirée également en une seule fois (fours à travail discontinu) ou bien les corps à griller traversent le four d'une extrémité à l'autre et alors il est toujours chargé à une extrémité du four une quantité de

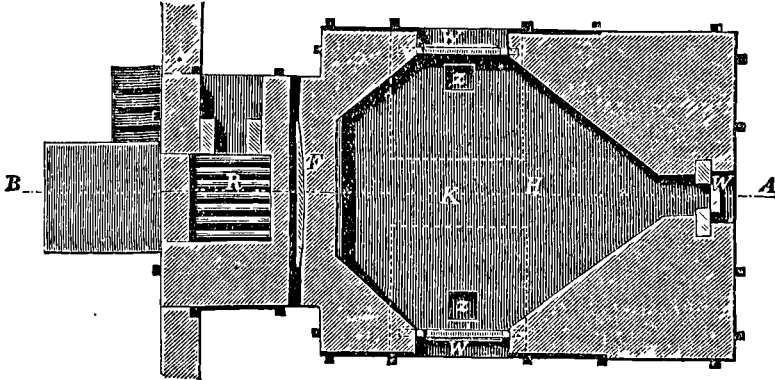


Fig. 315. — Four à réverbère de grillage à travail discontinu; coupe horizontale suivant C D (fig. 314).

minerai égale à celle qui en a été retirée à l'autre extrémité (fours à travail continu).

Parmi les fours à travail discontinu, nous mentionnerons le *four anglais pour le grillage de la galène*, qui est représenté par les figures 314 et 315. R est le foyer à grille, F le pont de chauffe creux et refroidi par de l'air, K le laboratoire, H la sole, N la voûte du laboratoire, y le rampant; V est l'ouverture pour le chargement du minerai à griller; z, z sont des ouvertures ménagées dans la sole qui peuvent être fermées, et par



lesquelles le minerai grillé est déversé dans des canaux qui se trouvent au-dessous de la sole. Les fours de cette espèce ne sont que peu employés.

Les *fours de grillage à travail continu* possèdent un seul laboratoire ou plusieurs laboratoires superposés. Si ces derniers offrent une grande

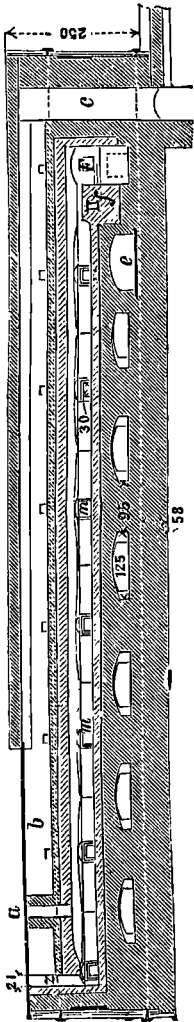


Fig. 316. — Four à réverbère de grillage à travail continu (four à pelletage continu de Przibram); coupe longitudinale.

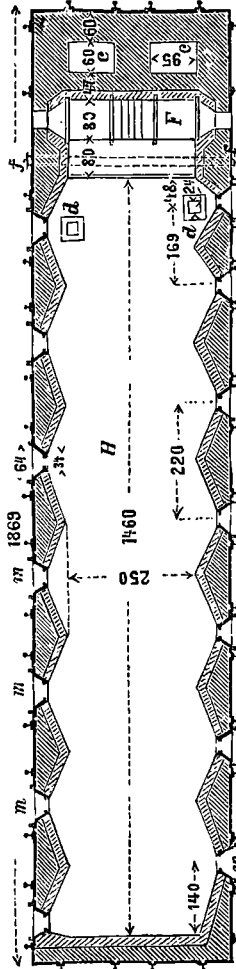


Fig. 317. — Four à réverbère de grillage à travail continu; coupe horizontale.

longueur, on donne aux fours le nom de *fours à pelletage continu*, à cause de la nécessité de faire passer peu à peu par pelletage les corps à griller d'une extrémité à l'autre du laboratoire. Avec certains minerais (galène), on cherche à la fin du grillage à fondre les masses, dans lequel cas la sole est concave dans le voisinage du pont de chauffe et muni d'un trou de coulée.

Les fours à pelletage continu sont munis sur les deux côtés longs du laboratoire d'ouvertures de travail.

Les figures 316 à 318 représentent un pareil four qui est employé à Przibram pour le grillage de la galène. *E* est le laboratoire, *f* le pont de chauffe creux refroidi par l'air, *F* le foyer, *II* la sole. Les minerais sont déversés dans le laboratoire par l'ouverture *a*, qui se trouve dans la voûte, non loin du rampant, et peut être fermée, et de là ils sont peu à peu transportés par pelletage jusqu'au pont de chauffe. Dans ce point, ils sont retirés du four par les deux dernières portes de travail, ou par les canaux verticaux *d*, ménagés dans la sole (et que l'on peut fermer à l'aide de briques),

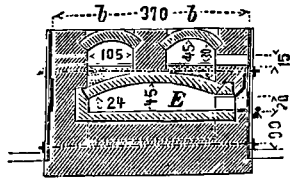


Fig. 318. — Four à réverbère de grillage à travail continu; coupe transversale.

ils sont déversés dans l'espace *e*, qui se trouve au-dessous de cette dernière. *m, m* sont les ouvertures de travail. Les gaz du foyer traversent le

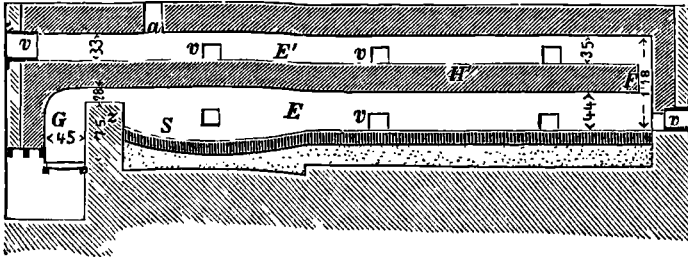


Fig. 319. — Four à réverbère de grillage avec deux laboratoires superposés; coupe verticale.

laboratoire dans toute sa longueur et passent ensuite, par le rampant *z*, dans deux canaux *b, b* s'étendant au-dessus de la voûte du laboratoire

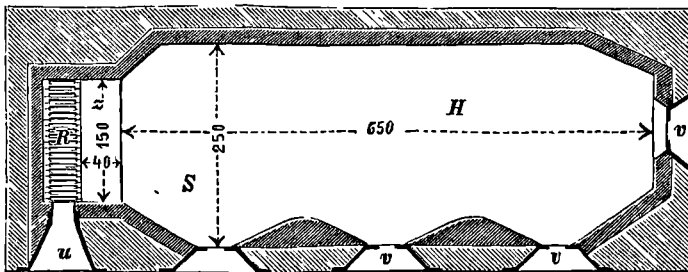


Fig. 320. — Four à réverbère de grillage avec deux laboratoires superposés; coupe horizontale.

et du foyer, et de ces canaux ils se rendent par le conduit *c* dans la cheminée. A mesure que le minerai grillé est retiré du laboratoire, on pousse en avant la partie du minerai qui se trouve devant les différentes

portes de travail et on introduit une charge fraîche par les deux premières ouvertures de travail.

Les figures 319 et 320 représentent un four à pelletage continu avec deux laboratoires superposés, ouvertures de travail sur un des côtés seulement du laboratoire et un bassin à côté du pont de chauffe pour la fusion de la masse grillée; ce four est employé pour le grillage de la

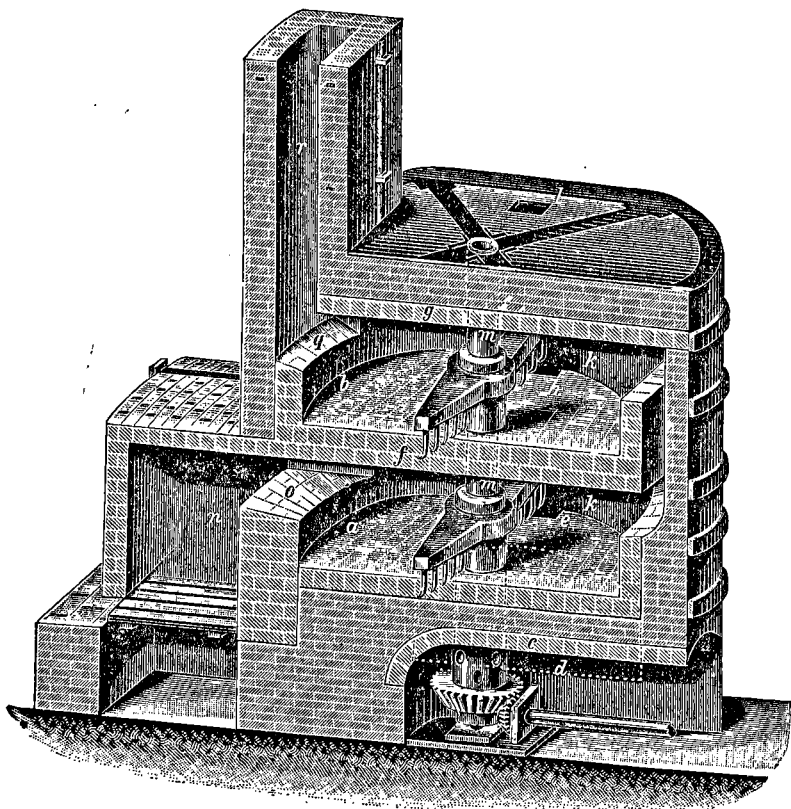


Fig. 321. — Four à travail mécanique avec deux soles (four de Parkes).

galène. E et E' sont les deux laboratoires, II et II' les soles correspondantes; S est le bassin par lequel se termine en avant la sole inférieure; F est le rampant du laboratoire inférieur (celui du laboratoire supérieur n'est pas visible dans les figures); R est la grille, a la porte du foyer G, a l'ouverture de chargement des minerais; v, v. sont les portes de travail. Les gaz sortant du foyer G passent par-dessus le pont de chauffe z dans le laboratoire inférieur, puis à l'extrémité de celui-ci ils se rendent, par le rampant F, dans le laboratoire supérieur et ils arrivent ensuite dans la cheminée par le rampant de ce dernier. Les minerais, chargés dans le laboratoire supérieur sont amenés peu à peu à son extrémité et déversés

par le rampant F dans le laboratoire inférieur ; dans ce dernier, ils sont poussés jusqu'au bassin S, où ils sont fondus (afin d'expulser au moyen de l'acide silicique l'acide sulfurique du sulfate de plomb formé pendant le grillage). La masse liquide est ordinairement évacuée du bassin par un trou de coulée.

Les fours à travail mécanique sont, à quelques exceptions près, à

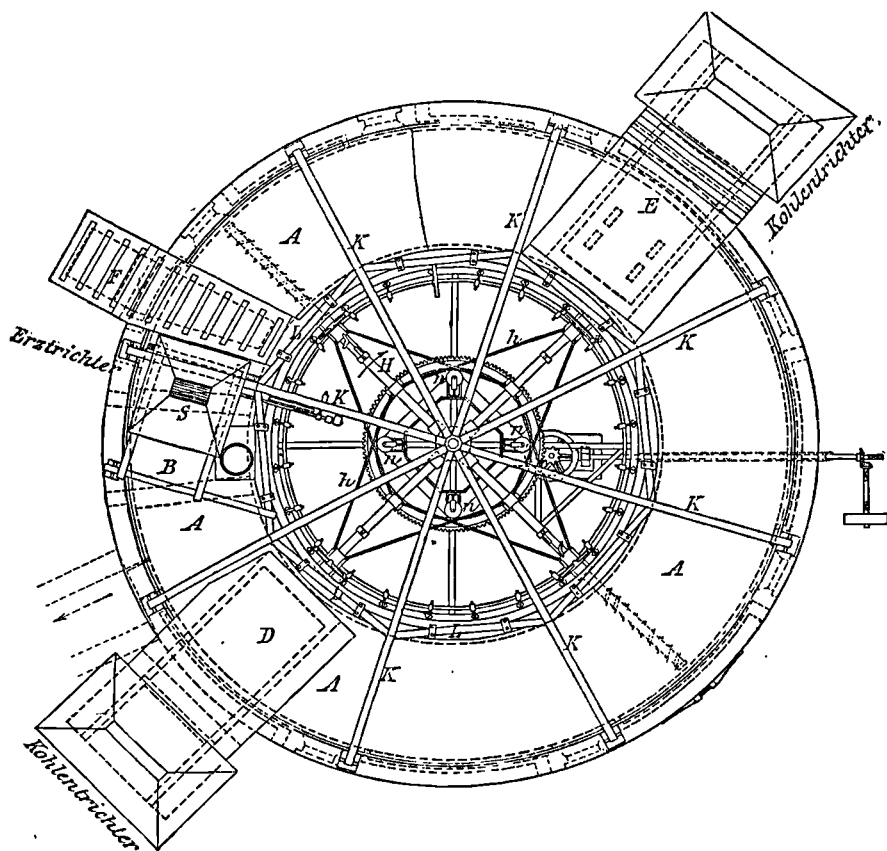


Fig. 322. — Four annulaire à travail mécanique (four de Pearce); coupe horizontale.  
*Erztrichter* = Trémie à minerai. — *Kohlentrichter* = Trémie à charbon.

marche continue. Le brassage et le mouvement des masses y sont produits au moyen de dents ou de plaques fixées sur des supports. Ces appareils, désignés sous le nom de *râbles*, sont fixés eux-mêmes à un arbre vertical ou à des chaînes ou à des câbles métalliques sans fin.

Un ancien four avec arbre vertical, le *four de PARKES*, est représenté par la figure 321.

Il possède deux soles. *a* est la sole inférieure, *b* la sole supérieure, *n* le foyer à grille, *o* le pont de chauffe, *m* l'arbre avec les râbles pour chaque sole. Le minerai grillé peut être déversé par un canal de la sole supérieure

sur l'inférieure. Les gaz du foyer passent par un carneau de la sole inférieure sur la sole supérieure et se rendent par le rampant *g* dans la cheminée *r*.

Une nouveau four à très bon rendement, avec râbles fixés à un moyeu à l'aide de bras, le *four de PEARCE*, est représenté par les figures 322 et 323. Ce four possède une sole annulaire, dont les deux extrémités ne se joignent

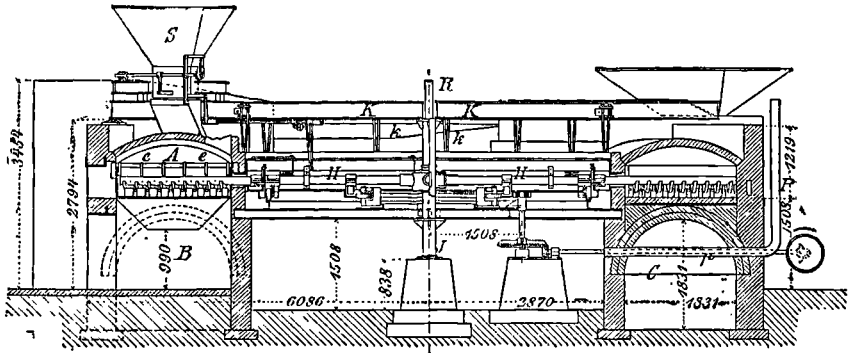


Fig. 323. — Four annulaire à travail mécanique; coupe verticale.

pas complètement. Le minerais est chargé à une des extrémités et, au moyen de deux râbles fixés aux bras d'un moyeu, il est poussé peu à peu vers l'autre extrémité, où il est retiré du four. Le moyeu se meut autour d'une colonne verticale dans le centre de l'espace intérieur entouré par la sole annulaire. Les bras creux des câbles, refroidis intérieurement par de

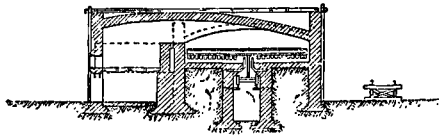


Fig. 324. — Four à réverbère de grillage à travail mécanique, système Ropp; coupe transversale par l'un des foyers.

l'air froid, pénètrent dans le laboratoire par une fente ménagée dans la paroi interne de ce dernier. Cette fente est fermée par une bande d'acier sans fin tournant avec les bras des râbles et appliquée fortement sur la fente; l'entrée d'air froid par celle-ci dans le laboratoire est ainsi empêchée. Les foyers (2 ou 3) sont établis sur le côté extérieur du four. La partie supérieure du mur intérieur du laboratoire est suspendue à de fortes poutres, dont les extrémités sont supportées, d'une part, par la colonne, qui se trouve au centre de l'espace intérieur entouré par le four, et, d'autre part, par le mur extérieur de ce dernier. Le four est consolidé par des anneaux entourant la maçonnerie extérieure et par des poutres radiales établies entre la colonne centrale et le mur intérieur.

A est la sole, B l'ouverture en forme de coin pour l'extraction du minerais grillé. C est une chambre à poussières s'étendant au-dessous de la sole.

D et E sont des foyers à grille. Les gaz produits dans ces derniers passent dans le laboratoire et se rendent avec les gaz résultant du grillage dans

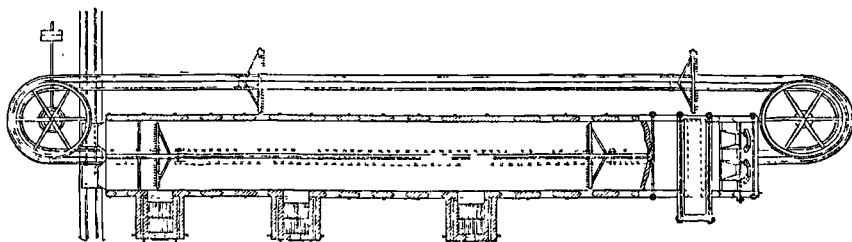


Fig. 325. — Four à réverbère de grillage à travail mécanique, système Ropp; coupe horizontale.

un canal descendant, qui les conduit dans la chambre à poussières C. Autour de la colonne centrale J, est placé le moyeu creux, auquel sont

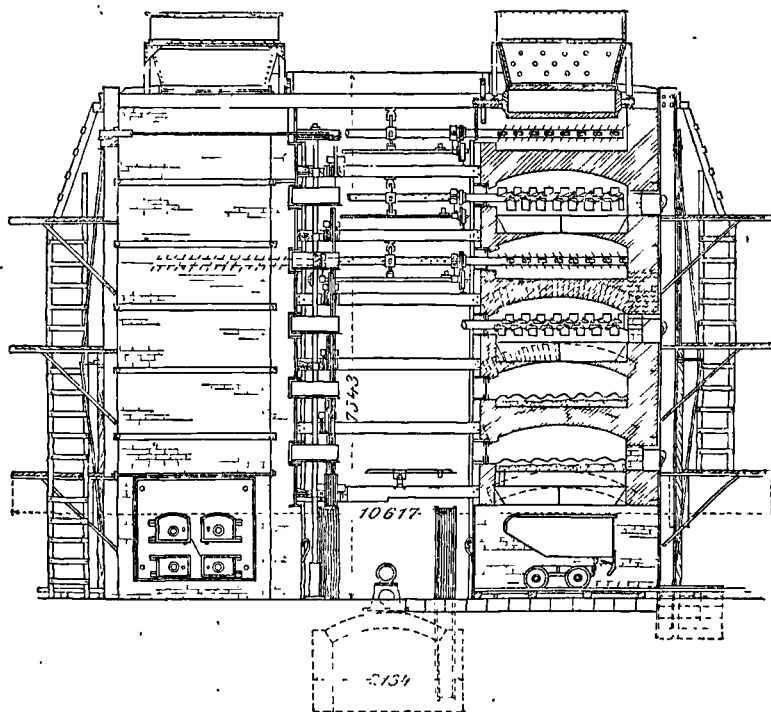


Fig. 326. — Four à réverbère de grillage à travail mécanique de Keller-Gaylord-Cole; vue antérieure et coupe transversale.

fixés les bras H des râbles. Le mouvement est communiqué aux bras H, par l'intermédiaire d'un engrenage, par deux roues, dont la plus grande est maintenue dans sa position exacte au moyen des galets *n*. Le vent

pénètre par le tube creux R et la colonne creuse J dans le moyeu, duquel il arrive dans les arbres creux H des râbles. Ces arbres possèdent de petites ouvertures et des ajutages tubulaires, par lesquels le vent s'échappe. Le minerai est chargé sur la sole par la trémie S, à l'aide d'un dispositif automatique, il est peu à peu entraîné par les râbles et déversé en B dans un wagonnet.

Parmi les fours dans lesquels le mouvement des râbles est produit au moyen d'un câble ou d'une chaîne sans fin, nous mentionnerons les fours de ROPP, et de KELLER-GAYLORD-COLE, et le four en fer à cheval de BROWN.

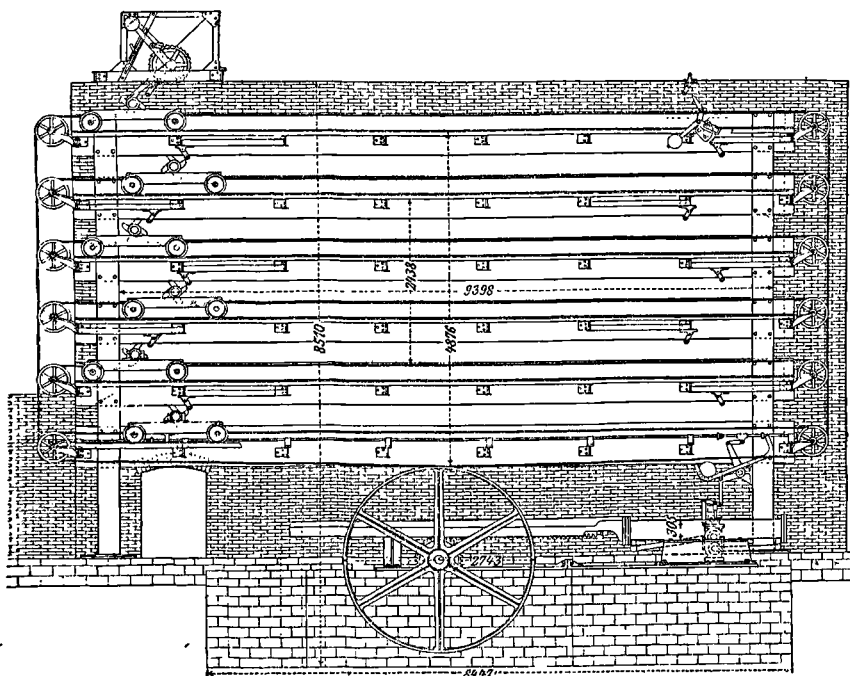


Fig. 327. — Four à réverbère de grillage à travail mécanique de Keller-Gaylord-Cole; coupe longitudinale.

Le *four de Ropp*, qui est représenté par les figures 324 et 325, est un four d'une grande longueur avec sole rectangulaire. Sur cette dernière se meuvent quatre râbles placés à des distances déterminées les uns des autres. Chaque râble est fixé par un bras vertical à un chariot à quatre roues, qui roule dans un canal établi sous le milieu de la sole dans l'axe longitudinal de celle-ci. Ce canal communique avec la sole dans toute sa longueur au moyen d'une fente longitudinale. Les chariots sont fixés à un câble sans fin en fils d'acier, mù par une force mécanique.

Au moyen de poulies établies aux deux extrémités du four, le mouvement des câbles est réglé de façon que les chariots sortant du canal de la sole circulent extérieurement d'une extrémité à l'autre du four sur des rails qui se trouvent le long des longs côtés de ce dernier, et parallèle-

ment à son axe longitudinal et que, arrivés à l'extrémité opposée à celle par laquelle ils sont sortis, ils pénètrent de nouveau dans le canal. Les râbles fixés aux chariots suivent le même trajet, pendant lequel ils se refroidissent, de sorte que lorsqu'ils pénètrent de nouveau dans le laboratoire, la chaleur n'exerce sur eux aucune action nuisible. Les foyers à grille sont au nombre de trois ou quatre. Le minerai est déversé à une des extrémités de la sole à l'aide d'un dispositif de chargement mécanique ; il est ensuite

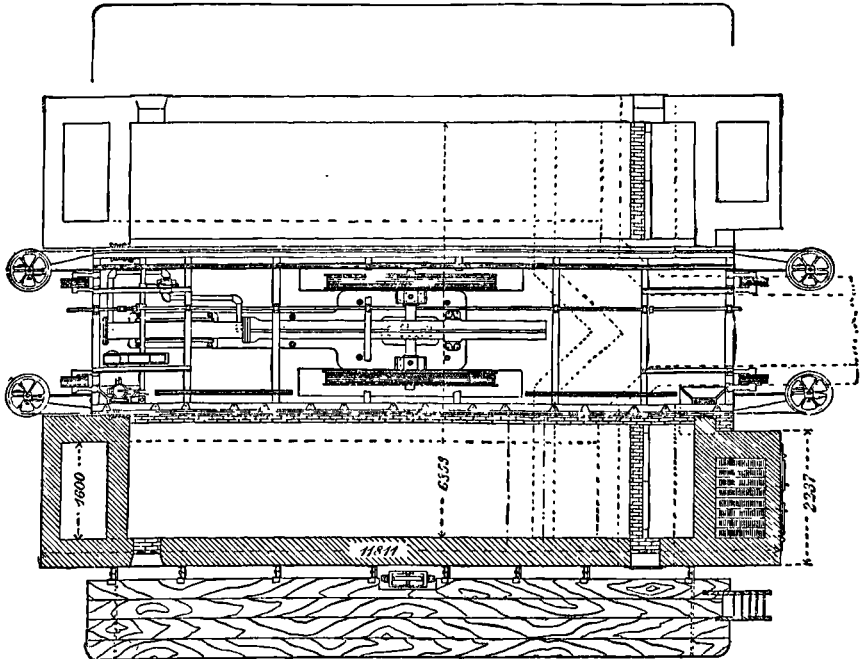


Fig. 328. — Four à réverbère de grillage à travail mécanique de Keller-Gaylord-Cole ; coupe horizontale.

poussé en avant par les râbles et déchargé dans des wagonnets à l'extrémité opposée. Les gaz des foyers et ceux qui proviennent du grillage traversent le four dans une direction opposée à celle du mouvement du minerai, et par le rampant ils passent dans le canal conduisant à la cheminée. Le four est fermé à ses deux extrémités par des portes à clapet.

Le *four de KELLER-GAYLORD-COLE* est représenté par les figures 326, 327 et 328. C'est un four à étages, formé de deux moitiés égales, avec longues soles rectangulaires, dont les râbles sont mus au moyen d'un dispositif établi entre les deux moitiés. Chaque moitié de four possède cinq soles superposées et, en outre, au-dessus de la sole supérieure une aire de dessiccation. Les râbles sont fixés à des bras qui traversent par des fentes les longs côtés du four. Les râbles possèdent deux séries alternantes de dents disposées l'une par rapport à l'autre sous un angle de  $180^\circ$ . Les râbles peuvent tourner de  $90^\circ$ , de façon que les dents inférieures se trouvent





mus en avant et ensuite en arrière. Dans le mouvement en avant, les dents étendent le minerai, tandis que dans le mouvement en arrière, par suite de la rotation des râbles de  $90^\circ$ , elles passent horizontalement au-dessus du minerai. Le minerai cru est déversé à la partie supérieure du four par des cylindres cannelés et il circule ensuite sur les différentes soles, jusqu'à

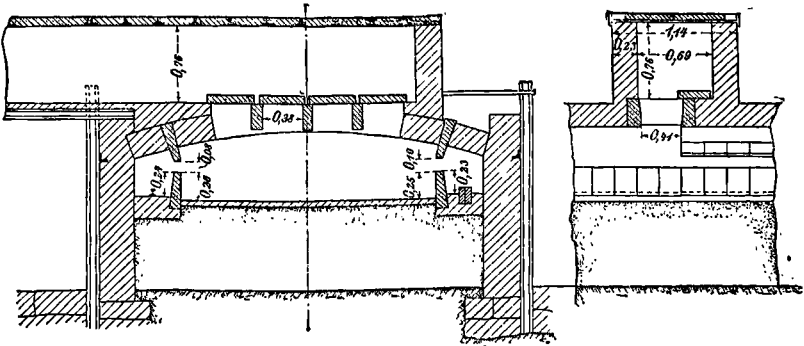


Fig. 331.

Fig. 332.

Fig. 331. — Four en fer à cheval annulaire de Brown ; coupe verticale par le laboratoire et le canal de la cheminée.

Fig. 332. — Four en fer à cheval annulaire de Brown ; coupe verticale par le canal de la cheminée et le rampant.

ce qu'il tombe à l'état grillé dans un wagonnet, placé au-dessous de la sole inférieure. Le mouvement des bras des râbles fixés à des trains de chariot est produit au moyen de câbles métalliques roulant sur des poulies et une grande roue motrice. Sur l'arbre de cette dernière est calée une

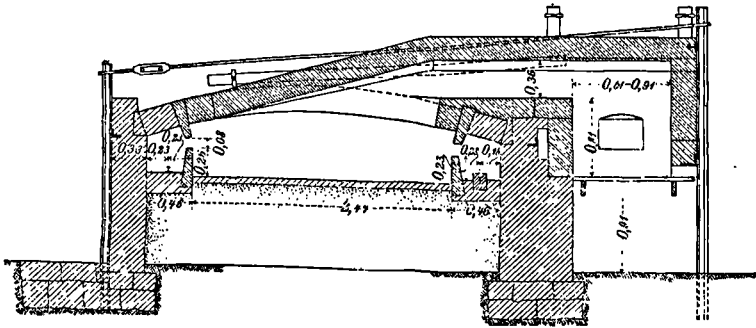


Fig. 333. — Four en fer à cheval annulaire de Brown ; coupe verticale par le foyer et le laboratoire.

roue dentée, dans laquelle s'engrène une crémaillère mue par pression hydraulique. Chaque sole a une grille. Les gaz du feu ne traversent ordinairement que le laboratoire supérieur, afin de chauffer les minerais qu'il renferme à la température d'inflammation. Lorsqu'on veut obtenir une désulfuration complète, les laboratoires inférieurs doivent aussi être chauffés.

Le four en fer à cheval de BROWN présente une forme annulaire ou elliptique. Dans les deux formes, le laboratoire n'occupe pas toute la surface

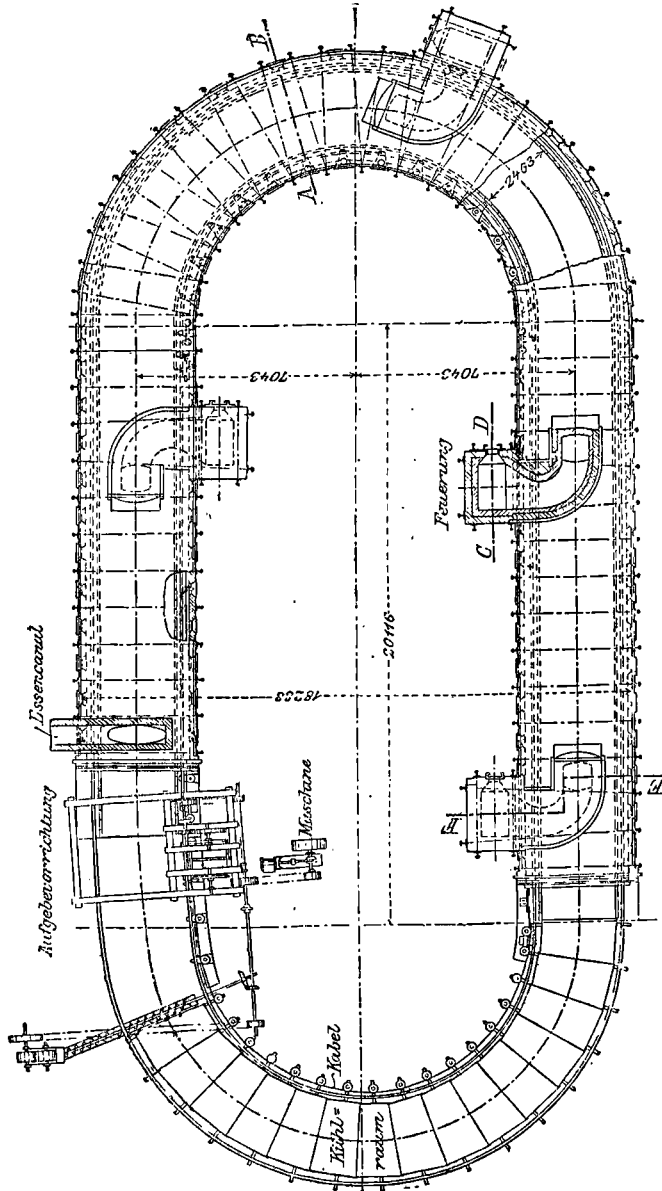


Fig. 334. — Four en fer à cheval elliptique de Brown pour le grillage chlorurant des minerais d'or; plan.

*Aufgeberorrichtung* = Appareil de chargement.

*Essencanot* = Cana conduisant à la cheminée.

*Feuerzug* = Foyer.

*Kabel* = Câble.

*Kühlraum* = Espace pour le refroidissement des râbles.

*Mascchine* = Machine.

de l'anneau ou de l'ellipse, mais une partie de cette surface se trouve entre les deux extrémités du four. L'espace qui reste ainsi libre dans l'anneau ou l'ellipse sert à refroidir les râbles qui le traversent. Les figures 329 à

333 représentent la disposition d'un four annulaire. De chaque côté du laboratoire, se trouvent des compartiments annulaires, qui communiquent avec lui par une large fente. Dans ces compartiments roulent sur des rails des chariots fixés à un câble sans fin et sur lesquels reposent des râbles. Le minerai, chargé à une extrémité du four par un dispositif automatique,

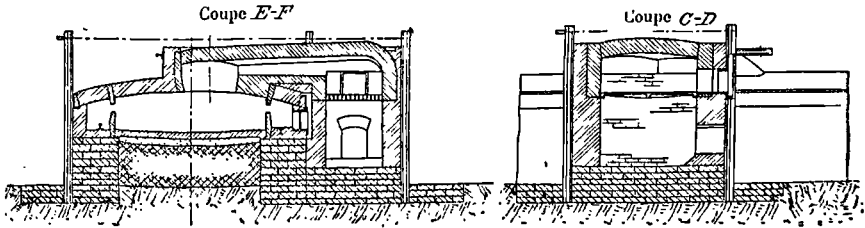


Fig. 335.

Fig. 336.

Fig. 335. — Four en fer à cheval elliptique de Brown; coupe verticale suivant FF (fig. 334).

Fig. 336. — Four en fer à cheval elliptique de Brown; coupe verticale suivant CD (fig. 334).

est poussé sur la sole par ces râbles, dont deux sont alternativement en activité, et ainsi transporté à l'autre extrémité du four. Le laboratoire est fermé à ses deux extrémités par des portes en tôle suspendues à des charnières. Les foyers à grille, au nombre de trois ou quatre, se trouvent sur le côté extérieur du four. Du foyer, les gaz passent dans un court canal horizontal et de celui-ci, par une ouverture ménagée dans la voûte du laboratoire, ils pénètrent dans ce dernier. Les gaz des différents foyers traversent ensemble le laboratoire et passent ensuite, dans le voisinage de l'appareil de chargement du minerai, par plusieurs rampants ménagés dans la voûte du four, dans le canal conduisant à la cheminée.

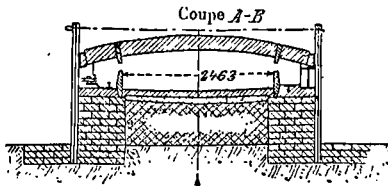


Fig. 337. — Four en fer à cheval elliptique de Brown; coupe suivant AB (fig. 334).

La disposition d'un four en fer à cheval elliptique, qui est employé pour le grillage chlorurant des minerais d'or, est mise en évidence par les figures 334 à 337. La sole de grillage est longue de 54,32 mètres et large de 2,438 mètres. L'espace entre les deux extrémités du four où se refroidissent les râbles a 23,774 mètres de longueur et 2,438 mètres de largeur. Les foyers se trouvent sur le côté intérieur du four.

#### Fours à souder.

Parmi les fours à souder, nous mentionnerons un four à souder avec foyer à grille et deux fours à souder avec chauffage au gaz, l'un avec chauffage Ponsard, l'autre avec chauffage Siemens.

Le four à souder avec foyer à grille est représenté par les figures 338 et 339.

R est le foyer à grille ; F est le pont de chauffe creux, refroidi par l'air ; V est le laboratoire ; H est la sole. Celle-ci est faite d'une masse de quartz et elle repose sur une plaque de fer. K est le rampant, dirigé par en

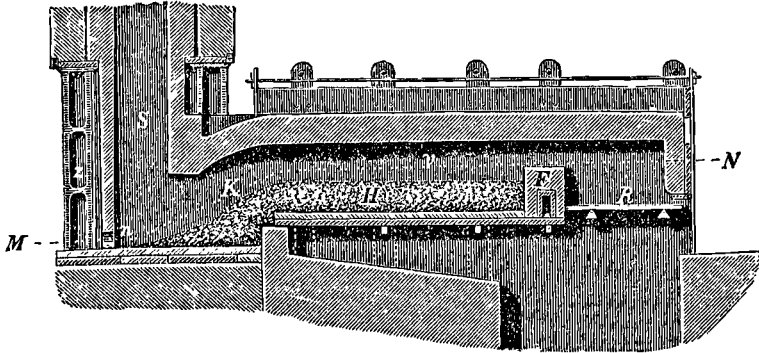


Fig. 338. — Four à souder avec foyer à grille; coupe verticale suivant PQ (Fig. 338).

bas et dans lequel coule la scorie, qui est évacuée par l'ouverture *n*. S est la cheminée et *u* est l'ouverture de travail, qui sert en même temps pour charger les lingots de fer à souder et retirer les lingots soudés.

La houille est chargée sur la grille par l'ouverture *i*; *z* sont des supports en fer pour la cheminée.

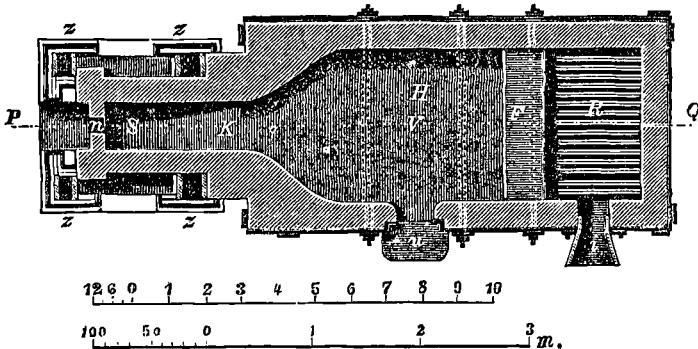


Fig. 339. — Four à souder avec foyer à grille; coupe horizontale suivant MN (Fig. 339). (Echelles en pieds du Rhin et en mètres.)

Un four à souder avec chauffage Ponsard est représenté par les figures 340 et 341.

G est le gazogène, O le laboratoire, R le récupérateur. Les gaz pénètrent dans le four en *h*, tandis que l'air réchauffé dans le récupérateur arrive par *k*. Les gaz brûlés passent donc du laboratoire O par le rampant *i* dans le récupérateur, et ensuite par le conduit *w* dans la cheminée.

La sole se compose d'une masse quartzreuse reposant sur une plaque de fer. Ce four n'est que peu employé.

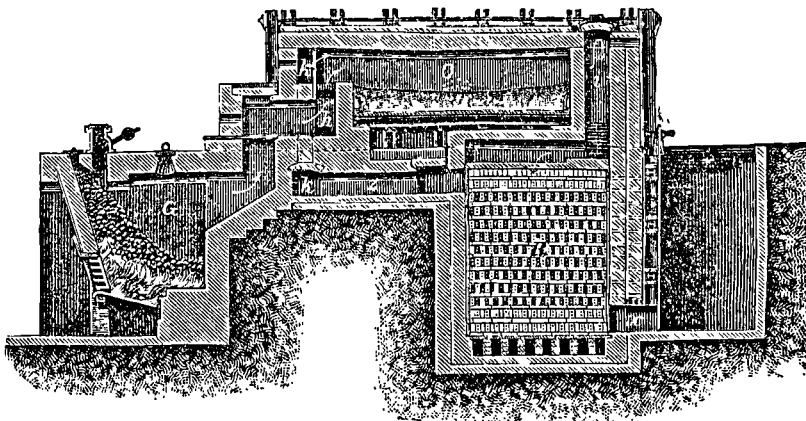


Fig. 340. — Four à souder avec chauffage Ponsard ; coupe longitudinale.

Un four à souder avec chauffage Siemens est représenté par la figure

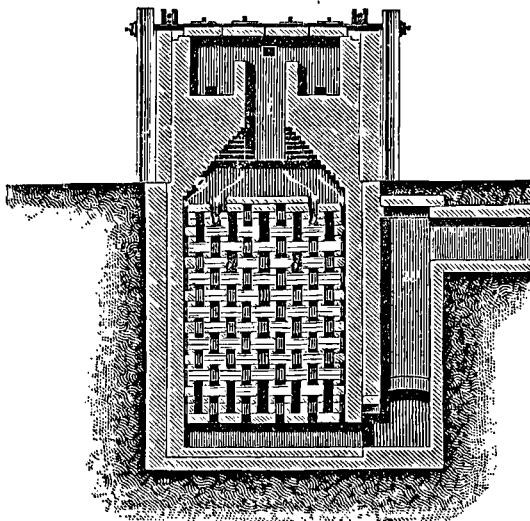


Fig. 341. — Four à souder avec chauffage Ponsard ; coupe transversale par le récupérateur.

342. A est la sole en sable reposant sur une plaque de fer ; G, G' sont les régénérateurs pour le réchauffage du gaz, L, L' les régénérateurs pour le réchauffage de l'air ; g, g' sont les canaux adducteurs du gaz, l, l' les

canaux adducteurs de l'air ; s est une ouverture pour l'évacuation de la scorie formée pendant le soudage.

#### Fours à réchauffer.

La figure 343 représente un *four pour le réchauffage des lingots d'acier fondu, dit four roulant*. Les lingots sont introduits dans le four par la porte de travail a, qui se trouve dans le voisinage du rampant (a'), et ils sont poussés peu à peu jusqu'au pont de chauffe, d'où ils sont retirés par

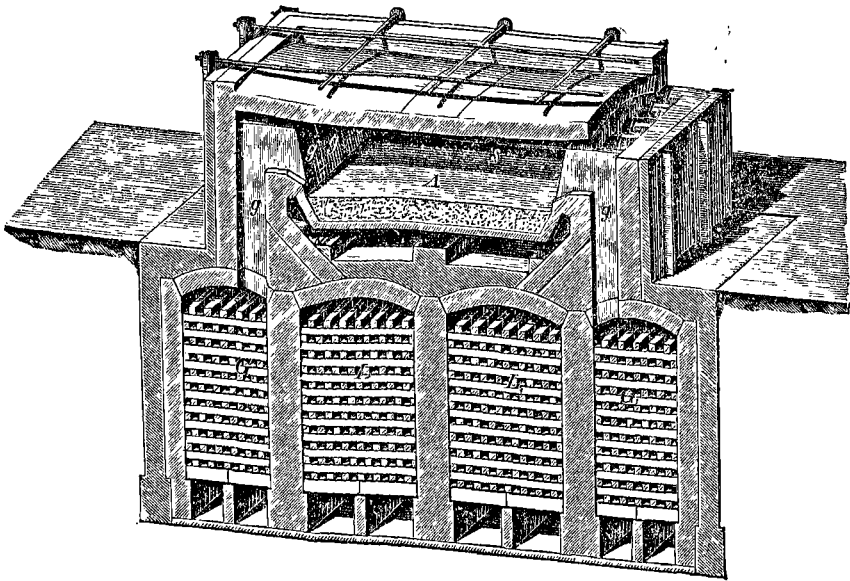


Fig. 342. — Four à souder avec chauffage Siemens.

la porte de travail n° 1. Dans le long trajet de la dernière porte de travail à la première, les lingots d'acier sont chauffés jusqu'à la température de soudage. Afin que l'on puisse faire mouvoir plus facilement les lingots et que leur face inférieure soit aussi touchée par les gaz du foyer, on a établi dans la partie postérieure inclinée du laboratoire, sur la sole de ce dernier, deux barres parallèles en acier. Le foyer à grille de ce four est à vent forcé.

#### Fours à laboratoire partiellement mobile.

Les fours à laboratoire partiellement mobile trouvent emploi pour le grillage de corps métallifères pulvérulents (minerais d'étain). Comme une haute température n'est pas nécessaire pour le grillage, ils sont chauffés au moyen de foyers à grille. La partie du four qui se meut pendant le travail est la sole. Celle-ci est plane et de forme circulaire comme dans les fours de BRUNTON et de GIBBS et GELSHARP, ou rectangulaire, comme dans le four

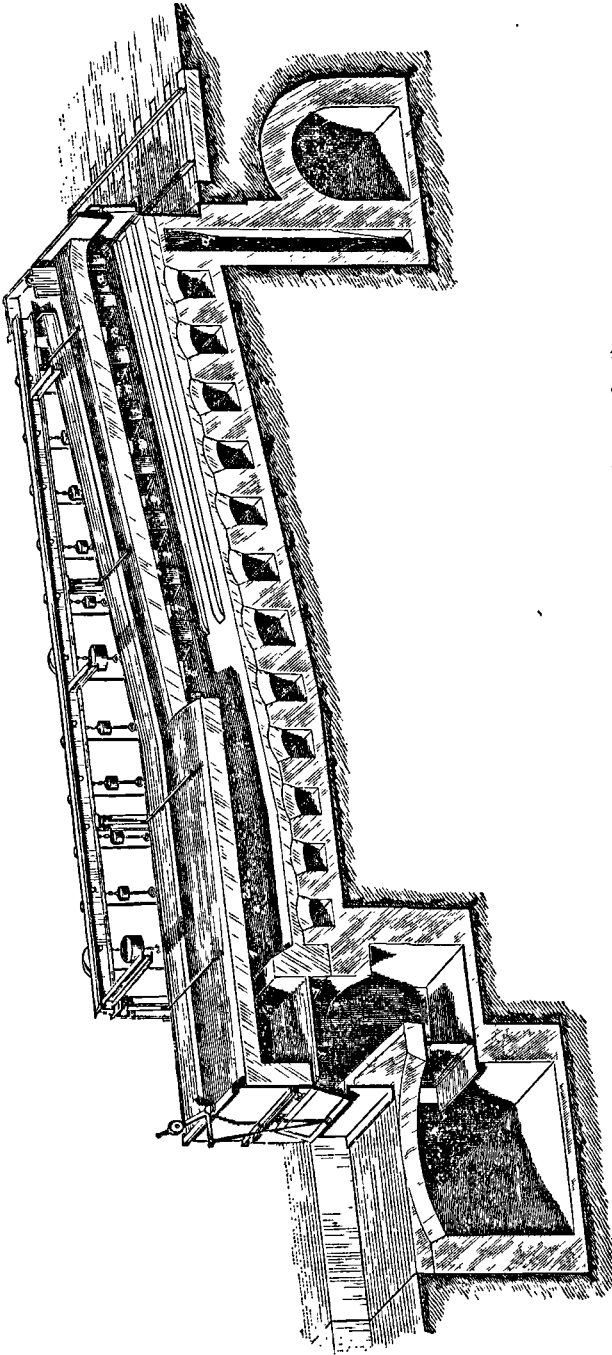


Fig. 343. — Four à réchauffer les lingots d'acier fondu (four roulant).



de la SOCIÉTÉ DES USINES A PLOMB ET ARGENT D'EMS. Avec les deux premiers fours le chargement des corps à griller dans le laboratoire a lieu par une ouverture ménagée dans la voûte de ce dernier, et le produit du grillage est

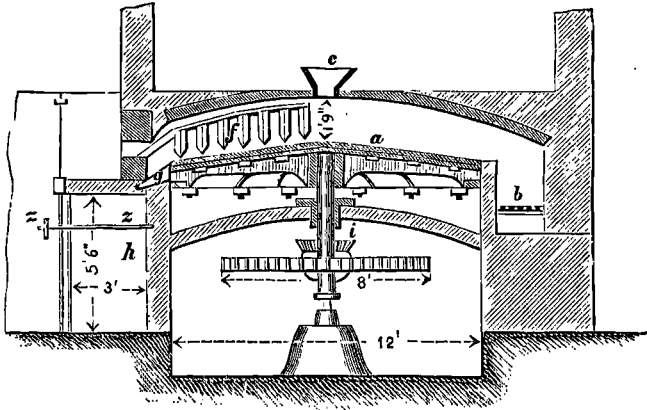


Fig. 344. — Four de Brunton à sole mobile et à travail mécanique pour le grillage des minerais d'étain; coupe verticale.

évacué de façon continue par une autre ouverture, pratiquée dans la paroi latérale du laboratoire. Avec le troisième dispositif, le minerai à griller est chargé sur la sole retirée du four, qui est ensuite repoussée dans ce

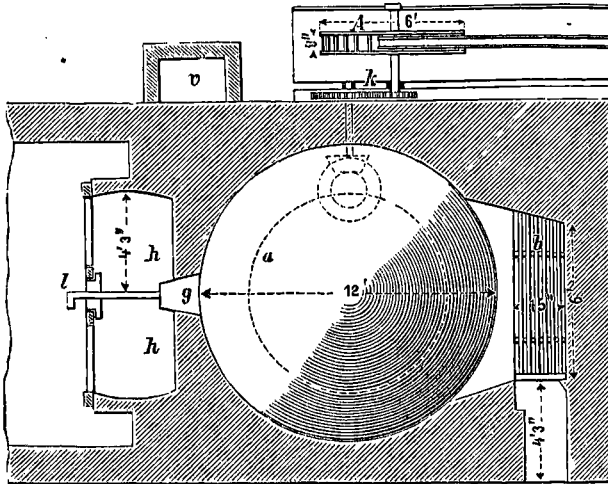


Fig. 345. — Four de Brunton; coupe horizontale.

dernier, et l'extraction du minerai grillé a lieu par des ouvertures ménagées à cet effet dans la sole.

Le four de BRUNTON, qui est employé pour le grillage des sulfures et des

arséniures métalliques mélangés aux minerais d'étain, est représenté par

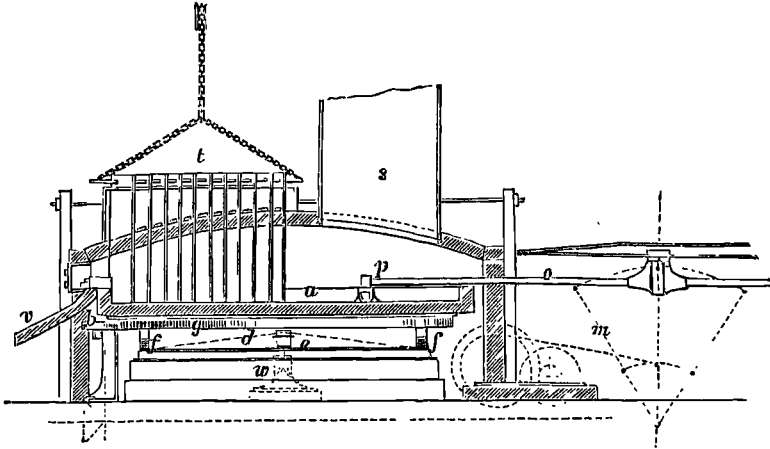


Fig. 346. — Four de Gibbs et Gelstharp à sole mobile et à travail mécanique pour le grillage des minerais de cuivre; coupe verticale.

les figures 344 et 345. *a* est la sole fixée sur un arbre vertical; *b* est la grille;

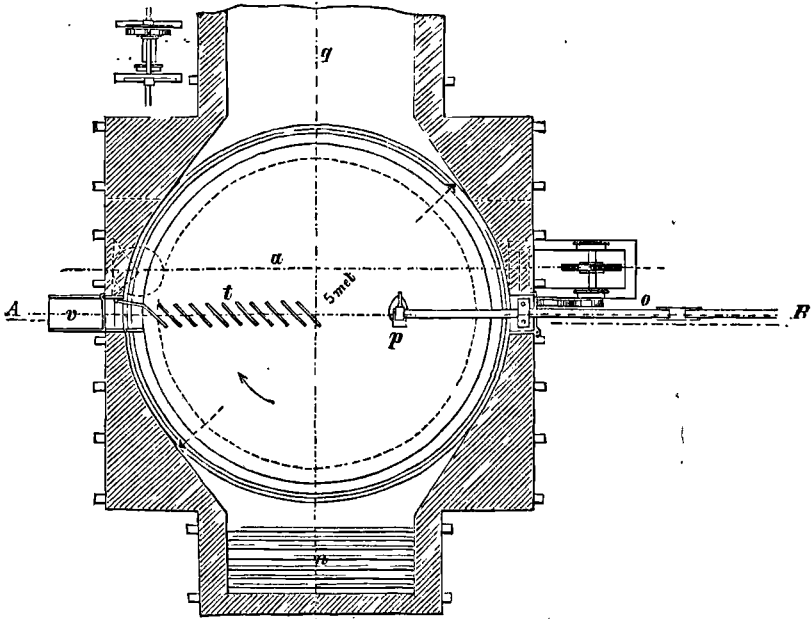


Fig. 347. — Four de Gibbs et Gelstharp; coupe horizontale.

*e* est la trémie pour le chargement du minerai dans le laboratoire; *f* est le râble fixe qui, lors de la rotation de la sole, brasse le minerai et le pousse

peu à peu du milieu de la sole vers l'ouverture *g*, par laquelle il tombe, suivant la position du clapet *z*, dans l'une des deux chambres *h*. Le trou du rampant conduisant à la cheminée *v* n'est pas visible dans les figures.

Les figures 346 et 347 représentent un four pour le *grillage des minerais de cuivre* (four de GIBBS et GELSTHARD). *a* est la sole en forme de cuvette, fixée sur un arbre vertical *e*. Elle est en tôle de fer et munie d'un revêtement en briques réfractaires. Elle repose sur un disque *g*, qui est mis en mouvement par une chaîne sans fin. Ce disque repose en outre sur l'arbre *e*, et sur des galets *f*, et il est entraîné par le rouleau frotteur *b*. *n* est la grille, *q* le rampant, *s* l'ouverture de chargement du minerai; *p* est un râble en fer, qui reçoit un mouvement de va-et-vient d'une force mécanique et qui brasse la poudre du minerai; *t* sont des plaques placées obliquement, qui poussent peu à peu le minerai vers l'ouverture de déchargement *v*.

[Le four de grillage de la SOCIÉTÉ DES USINES A PLOMB ET ARGENT D'EMS est un four à pelletage continu dont la sole est constituée par la plate-forme de wagons circulant dans le four.

Le minerai à griller est déversé sur la plate-forme des wagons *a* (fig. 348 et 349), que l'on pousse sur des rails dans un four-tunnel et dont les extrémités s'appliquent exactement l'une contre l'autre, de façon à ne laisser aucun passage pour l'air. Dans ce but, les plates-formes sont munies inférieurement de fers à cornière *b*, qui lors de l'approche de deux wagons viennent se placer sous la plate-forme du wagon voisin, de sorte qu'avec de l'argile, du sable, etc. il est facile d'établir la fermeture hermétique. Le minerai est chargé, en dehors du four, sur les plates-formes, et les wagons sont ensuite poussés dans le four. La fermeture hermétique entre les rebords latéraux des plates-formes et la paroi du four est obtenue au moyen de lames de tôle, qui descendent dans la rigole *c*, remplie de sable. Les gaz provenant du gazogène *d* pénètrent par la fente *f* dans le laboratoire du four, où ils sont brûlés. Les produits de la combustion se rendent, en passant entre la couche du minerai et la voûte, vers l'extrémité du four par laquelle entrent les wagons nouvellement chargés, d'où ils s'échappent par la cheminée *g*. Les wagons sont vidés par les ouvertures *h*, ménagées dans leur plate-forme. Il est convenable de pro-

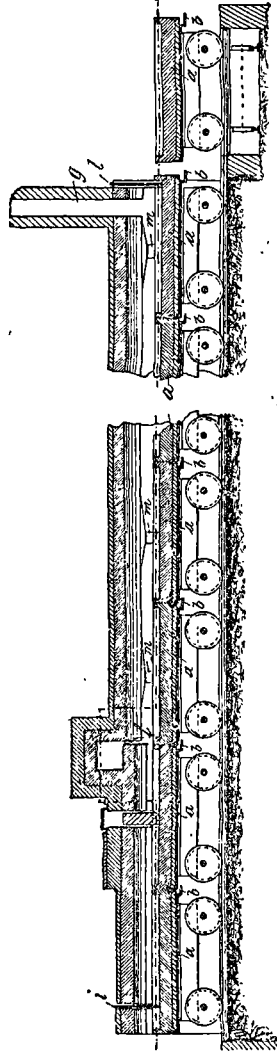


Fig. 348. — Four de grillage à sole mobile et à travail manuel de la Société des usines à plomb et argent d'Embs; coupe longitudinale.

longer le four au delà de la zone de chauffage, afin que les wagons, après avoir été vidés par les ouvertures *h*, restent encore dans le four et cèdent leur chaleur à l'air de combustion pénétrant dans le laboratoire. Dans

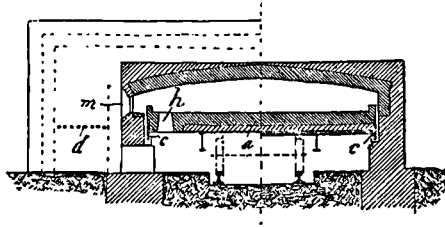


Fig. 349. — Four de grillage de la Société des usines à plomb et argent d'Ems; coupe transversale.

l'extrémité du four où se trouvent les wagons vidés, sont disposés des registres *i* permettant de régler l'entrée de l'air. Un registre *l* peut aussi être établi à l'extrémité par laquelle les wagons pénètrent dans le four,

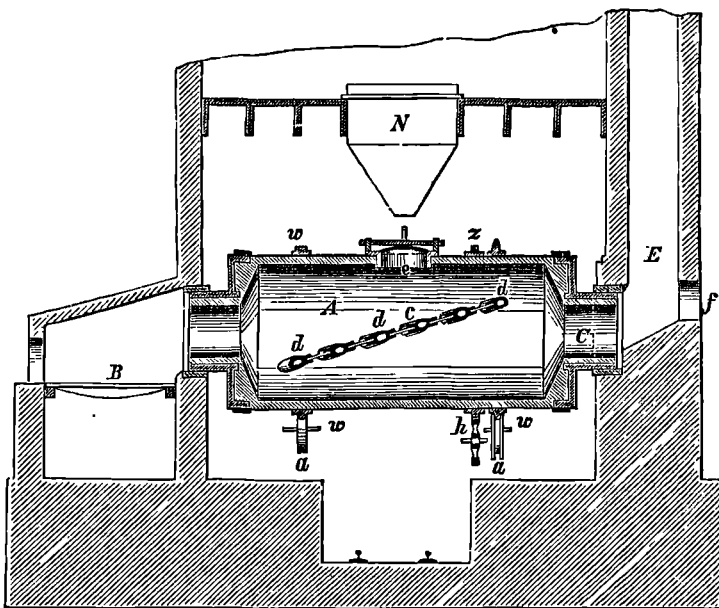


Fig. 350. — Four de grillage à laboratoire mobile horizontal (four de Brückner); coupe longitudinale et verticale.

bien que l'entrée d'air froid en ce point puisse aussi être empêchée au moyen de minerais entassés jusqu'à la voûte. Pendant le grillage, le minerai qui se trouve sur les plates-formes est brassé par les ouvertures de travail *m*, *m* ménagées dans les parois latérales du four].

## Fours à laboratoire mobile.

Les fours à laboratoire mobile trouvent emploi pour le grillage de minerais pulvérulents. Comme de hautes températures n'y sont pas nécessaires, ils ont un foyer à grille. Ce sont des cylindres en fer horizontaux ou inclinés, revêtus intérieurement de briques réfractaires et qui tournent autour de leur axe. Avec les cylindres disposés horizontalement, le chargement des corps à griller et l'extraction du produit du grillage ont lieu

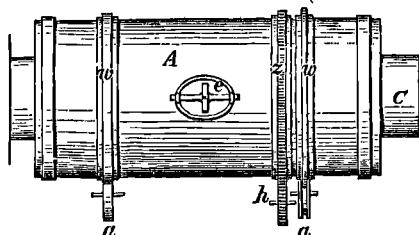


Fig. 351. — Four de grillage à laboratoire mobile horizontal; vue extérieure du cylindre.

périodiquement par une ouverture ménagée dans la paroi du cylindre et qui peut être fermée. Avec les cylindres inclinés, l'introduction des corps à griller et l'extraction du produit du grillage ont lieu de façon continue,

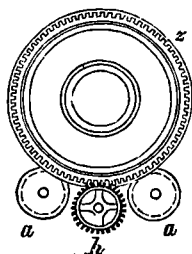


Fig. 352. — Four de grillage à laboratoire mobile horizontal; coupe transversale.

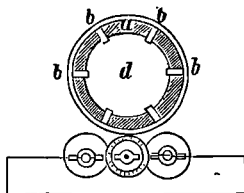


Fig. 353. — Coupe transversale d'un cylindre de four de grillage à laboratoire mobile incliné.

les premiers étant chargés à la partie supérieure du cylindre, le second étant retiré à sa partie inférieure.

On emploie les fours de cette espèce principalement pour le grillage de minerais de cuivre et de minerais d'argent.

Un four avec laboratoire établi horizontalement, le *four de BRUCKNER*, est représenté par les figures 350, 351 et 352. A est un cylindre rotatif, B la grille, C le rampant mobile avec le cylindre, E la cheminée. Le diaphragme *dd* dessiné dans le cylindre de la figure 350 n'est plus actuellement employé. Le cylindre est muni de deux couronnes directrices *w, w* et d'une couronne dentée *z*. Les couronnes *w, w* reposent sur les poulies

*a*, tandis que la couronne dentée s'engrène avec la roue motrice *h*; le cylindre est mis en mouvement par la rotation de cette dernière. *e* est une ouverture qui sert en même temps pour charger le minerai dans le cylindre et l'en retirer après grillage. Lorsqu'il s'agit de charger des minerais, on tourne le cylindre de façon que cette ouverture se trouve en haut, et par la trémie *N* on laisse le minerai se déverser dans le cylindre. Lorsque celui-ci doit être vidé, on le tourne de façon que l'ouverture *e* soit dirigée par en bas. En général, on intercale entre le rampant et la cheminée des chambres à poussières.

Dans les cylindres inclinés, les corps à griller sont introduits sans interruption à l'extrémité supérieure du four (par le rampant), au moyen d'un dispositif de chargement automatique; ils traversent le cylindre tournant

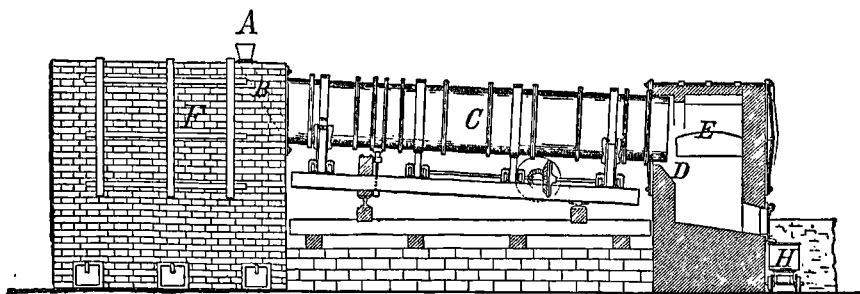


Fig. 354. — Four de grillage de White à laboratoire mobile incliné.

lentement et tombent à son extrémité inférieure. Afin que, dans l'intérêt d'un bon grillage, les corps à griller soient mis autant que possible en contact avec l'air et les gaz du foyer, on munit le revêtement intérieur du four de côtes longitudinales, faites de briques réfractaires, comme cela est indiqué dans la figure 353. *a* est le revêtement en briques réfractaires et *b, b* sont d'autres briques en saillie, formant les côtes longitudinales. Lorsque le cylindre tourne, la poudre des corps à griller est soulevée par les côtes longitudinales et dès que son angle de chute naturelle est atteint, elle retombe à travers les gaz venant du foyer.

De pareils fours servent pour le grillage oxydant de minerais de cuivre et de mattes cuivreuses, de minerais d'étain pyriteux, ainsi que pour le grillage chlorurant de minerais d'argent.

La disposition du *four de White* est mise en évidence par la figure 354. *C* est le cylindre, *A* le dispositif de chargement. Le minerai grillé sort du cylindre en *D* et se déverse dans le wagonnet *H*. Le foyer se trouve en *E*. Les gaz qui en partent arrivent à l'extrémité supérieure du cylindre, pénètrent dans les chambres à poussières *F* et de celles-ci dans la cheminée. L'air nécessaire pour le grillage peut s'introduire aussi bien par les portes du foyer que par des ouvertures particulières qui se trouvent à côté de celles-ci. Le four est disposé de façon que l'on puisse donner au cylindre l'inclinaison nécessaire pour les différentes sortes de minerais.

Le *four de Hocking-Oxland* est représenté par la figure 355. *A* est le foyer à grille, *x* le rampant; *f* sont des chambres à poussières. Les mine-

rais sont introduits dans le four par la trémie *e* et arrivés à l'extrémité inférieure du cylindre ils tombent par le canal *h* dans l'espace voûté *g*. Le cylindre est mis en mouvement au moyen d'une vis sans fin, qui s'engrène

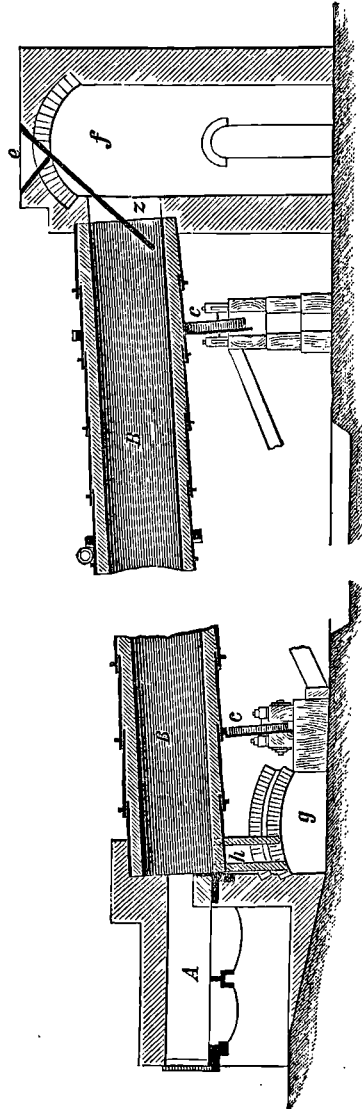


Fig. 355. — Four de grillage d'Hocking-Oxland à laboratoire incliné.

dans une couronne dentée, adaptée sur la périphérie du cylindre; *c, c* sont des galets.

Les figures 356 et 357 représentent un four d'HOCKING-OXLAND avec chambres à poussières pour recueillir l'acide arsénieux. Il est employé

dans les Cornouailles pour le grillage des minerais d'étain pyriteux et arsénifères.

Le cylindre (de 9-12 mètres de longueur et 1,2-1,8 mètre de diamètre)

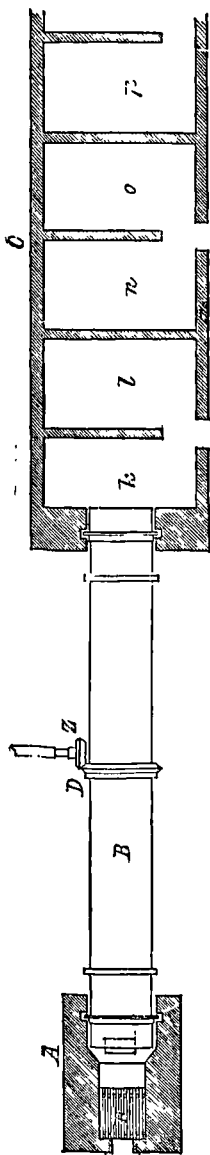


Fig. 356. — Four d'Hocking-Oxland avec chambres à poussières à poussières et arsénifères; plan.

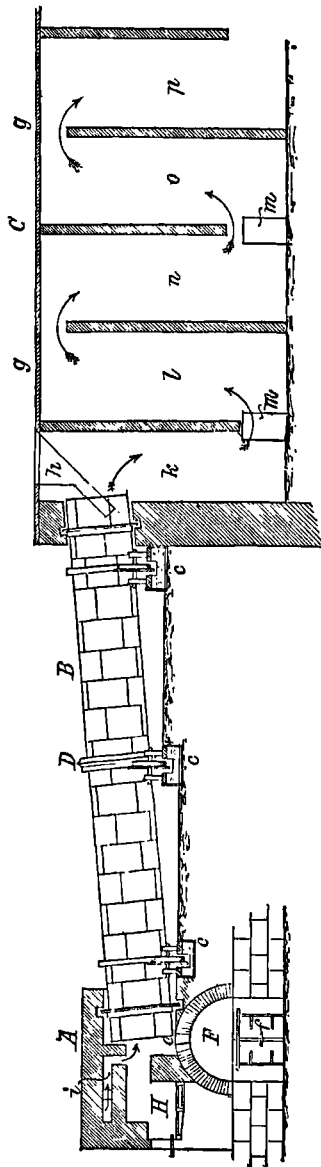


Fig. 357. — Four d'Hocking-Oxland pour le grillage des minerais d'étain; coupe verticale et longitudinale.

est en tôle à chaudière et il possède quatre côtes longitudinales, faisant saillie au-dessus du revêtement réfractaire. Il est muni de trois couronnes directrices, qui reposent sur les galets *c, c*. Le mouvement du cylindre est



produit par l'engrènement de la roue conique Z dans la couronne dentée D. H est le foyer à grille. L'air nécessaire pour l'oxydation entre dans le cylindre à l'état chauffé par le canal *i*, ménagé dans la voûte A du foyer. Le minerai est introduit à l'extrémité supérieure du cylindre par la trémie *h*, à l'aide d'un dispositif de chargement automatique, et à l'extrémité inférieure du cylindre il tombe par la fente *e* dans la chambre voûtée E, de laquelle il est retiré après ouverture de la porte *f*. Le cylindre fait, suivant la nature du minerai, 3-8 rotations par minute. Les gaz chauds et les vapeurs s'échappent par l'extrémité supérieure du cylindre et arrivent dans un système de chambres à poussières, dans lesquelles se précipite l'acide arsénieux.

#### Fours à réverbère pour fusions.

Ces fours sont très employés dans les opérations de fusion les plus différentes.

##### Fours avec laboratoire fixe.

###### *Avec foyer à grille.*

On emploie les fours à réverbère avec foyer à grille dans toutes les opérations de fusion qui n'exigent pas des températures excessivement hautes.

La chambre de travail, le laboratoire, n'a pas une très grande longueur. Pour y produire de hautes températures, on resserre la voûte et les parois latérales de la chambre vers le rampant. Le grand axe de celle-ci est horizontal ou incliné.

Suivant la nature de la fusion qui doit être pratiquée dans le four, la sole est faite en briques réfractaires, en quartz bocardé (extraction et raffinage du cuivre), en argile (extraction du plomb), en brasque (revivification des litharges, liquation de l'abstrich), en marne (coupellation), en cendre d'os (coupellation), en scories (puddlage).

Elle est *uniformément excavée*, lorsque les masses fondues doivent être exposées pendant longtemps à une température uniforme (fours à puddler, fours de coupellation, fours pour la fonte des minerais de cuivre). Elle présente une surface inclinée reliée à une excavation, lorsque les corps solides doivent être chargés à la partie la plus élevée de la sole et que les masses fondues doivent se rassembler dans sa partie la plus basse. Cette dernière partie se trouve près du pont de chauffe, lorsque des corps difficilement fusibles doivent être maintenus liquides par la chaleur (fours pour la refonte du fer brut). Elle se trouve du côté de la sole opposé au pont de chauffe, lorsque des corps facilement fusibles et volatils doivent être préservés de la vaporisation ou de l'oxydation. Elle forme une gouttière inclinée lorsque les masses fondues doivent être rassemblées en dehors du four. Le plan de la sole est rectangulaire, ovale, circulaire, polygonal, ou bien encore il est dissymétrique, si d'une seule ouverture dans les parois latérales du laboratoire on doit pouvoir atteindre avec des outils la surface entière de la sole (fours à puddler).

On perce les masses liquides rassemblées à l'intérieur du four dans le point le plus bas de la sole (comme cela a lieu avec les fours à cuve), ou

on les puise sur la sole elle-même (cuivre) ou bien encore on les laisse écouler peu à peu par des ouvertures ménagées dans les parois latérales du four, ouvertures que l'on approfondit à mesure que baisse le niveau du liquide (*canal ou voie des litharges* des

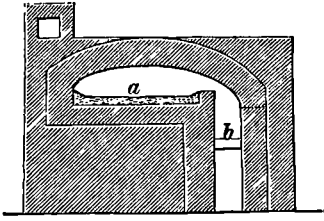


Fig. 358. — Four à plomb carinthien (four à réverbère de fusion à sole inclinée); coupe transversale.

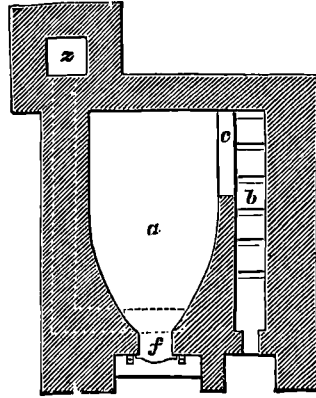


Fig. 359. — Four à plomb carinthien; coupe horizontale.

fours de coupellation). Les masses solides restées ou ayant pris naissance dans le laboratoire sont retirées par les ouvertures de travail (liquation, puddlage).

Dans les fusions oxydantes, l'air nécessaire est introduit dans le laboratoire par les ouvertures de travail ou par des canaux particu-

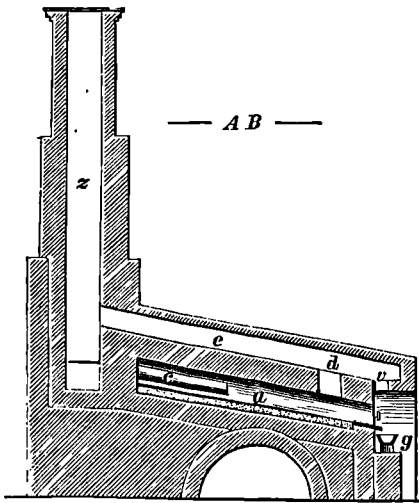


Fig. 360. — Four à plomb carinthien; coupe longitudinale suivant AB (fig. 361).

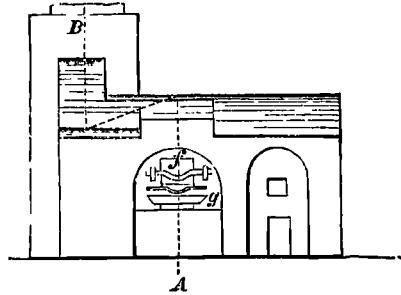


Fig. 361. — Four à plomb carinthien; vue de la face antérieure.

liers, et cela soit par le tirage d'une cheminée, soit à l'aide de souffleries. Dans beaucoup de cas (coupellation, raffinage du plomb), on introduit aussi du vent soufflé sous la grille (vent forcé).

*Fours à laboratoire incliné.*

Les fours de ce genre sont employés dans certains *procédés d'extraction du plomb et de liqutation*.

Dans ces fours, les masses fondues se rassemblent soit tout à fait en dehors du laboratoire, soit dans un bassin à l'intérieur de celui-ci.

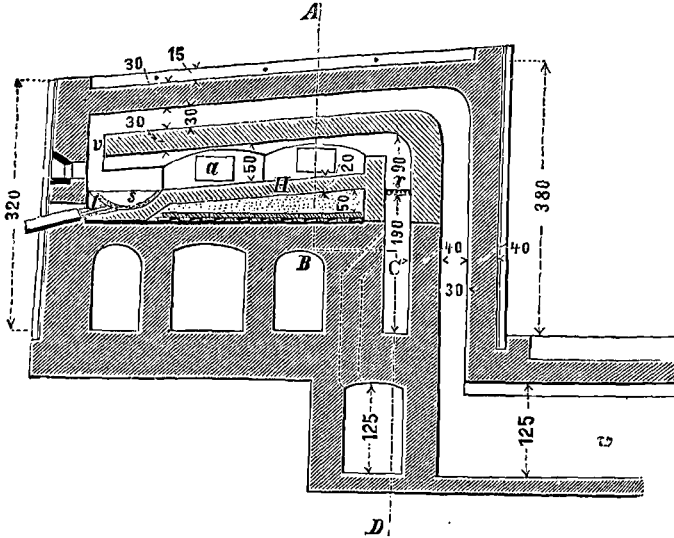


Fig. 362. — Four de liqutation de Przibram (four à réverbère de fusion à sole inclinée) ; coupe longitudinale.

Aux fours de la première espèce appartient le four à plomb carinthien représenté par les figures 358 à 361. *a* est le laboratoire dont la sole exca-

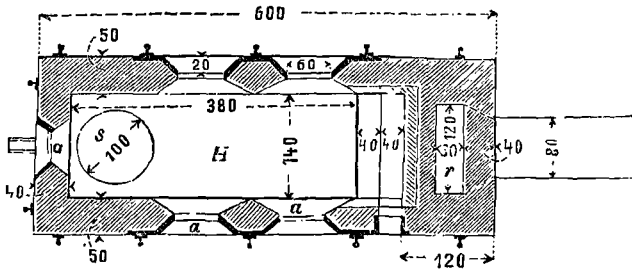


Fig. 363. — Four de liqutation de Przibram ; coupe horizontale.

vée, inclinée et rétrécie vers sa partie antérieure, est faite d'un mélange d'argile et de scories ; *b* est la grille disposée pour le chauffage au bois (grille formée d'arceaux en maçonnerie), *c* le passage de la flamme, *d* le rampant, duquel les produits gazeux de la combustion passent par le

canal *e* dans la cheminée *z*; *f* est l'ouverture de travail. Le plomb obtenu dans ce four (d'après le procédé par grillage et réaction) s'écoule sur la sole inclinée et arrive par une gouttière, qui se trouve dans l'ouverture de travail, dans un vase en fonte chauffé *g*, placé devant le four. Les vapeurs

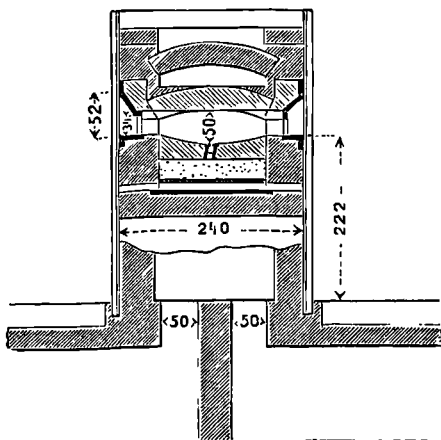


Fig. 364. — Four de liquation de Przibram; coupe suivant ABCD (fig. 363).

de plomb sortant de ce dernier sont amenées par l'ouverture *v* dans le canal *e*, d'où elles passent dans la cheminée.

Aux fours dans lesquels les masses fondues se rassemblent à l'intérieur du laboratoire, appartiennent différents fours de liquation. Les deux fours

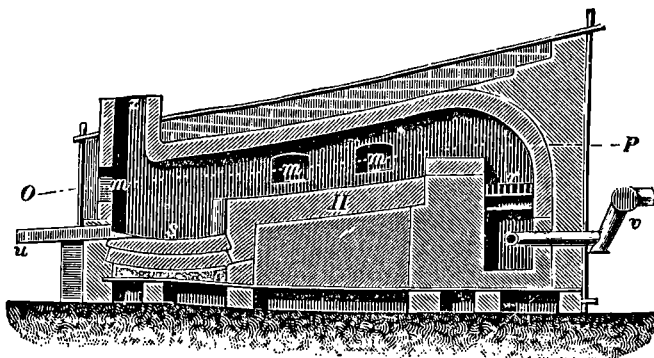


Fig. 365. — Ancien four de liquation de Freiberg (four à réverbère de fusion à sole inclinée et à vent forcé); coupe verticale.

de cette espèce qui sont représentés par les figures ci-jointes servent pour séparer par *liquation* le plomb d'avec le cuivre.

Le four à liquation de Przibram est représenté par les figures 362, 363 et 364. La sole II de ce four est en marne et elle aboutit à un bassin *s* en

brasque, duquel le plomb est écoulé de temps en temps par le canal *t*. Le plomb cuprifère à liquater est introduit dans le laboratoire et déposé sur la sole par les portes de travail *a, a*. Le plomb fond et coule dans le bassin, tandis que le cuivre allié à une certaine quantité de plomb reste sur la sole sous forme de masses solides (épines ou crasses de liquation), que

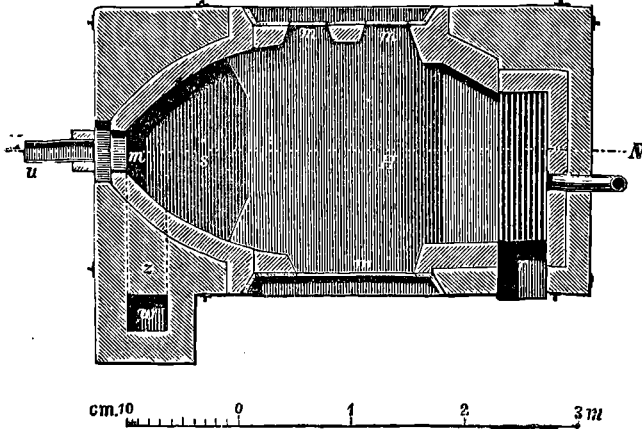


Fig. 366. — Ancien four de Freiberg; coupe horizontale.

l'on retire du laboratoire par les portes de travail; *r* est la grille, *v* le rampant, *w* le canal conduisant à la cheminée.

L'ancien four à liquation de Freiberg avec vent soufflé sous la grille est représenté par les figures 365 et 366.

Il est la sole; *s* la grille; *v* est le tube pour le soufflage du vent sous la grille; *s* est le bassin; *z* est le rampant, *w* la cheminée; *m, m* sont les ouvertures de travail; *u* est la gouttière en fonte pour évacuer le plomb du bassin.

#### *Fours à laboratoire horizontal.*

On emploie ces fours pour les opérations de fusion les plus différentes, surtout pour la refonte de métaux, la préparation du fer soudé, l'épuration (le raffinage) du cuivre, du plomb, du zinc, de l'argent, la séparation du plomb et de l'argent par coupellation, l'extraction du plomb, du cuivre, de l'argent, de l'étain, du nickel, de l'antimoine. Ils sont à travail intermittent.

Le four pour la préparation du fer soudé, appelé four à puddler, est représenté par les figures 367 et 368. *a* est la grille (grille à gradins), *b* le laboratoire, *c* le rampant, *d* la sole. Le laboratoire a une forme particulière non symétrique, parce que l'ouvrier doit pouvoir, avec des outils, introduits par une petite ouverture ménagée dans la porte de chargement, atteindre la sole dans toute son étendue; afin d'obtenir une haute température, le laboratoire se rétrécit du côté du rampant.

La sole *m* est formée de plaques de fonte reposant sur des supports en fer

ou des piliers en maçonnerie, et elle est rafraîchie par l'air circulant au-

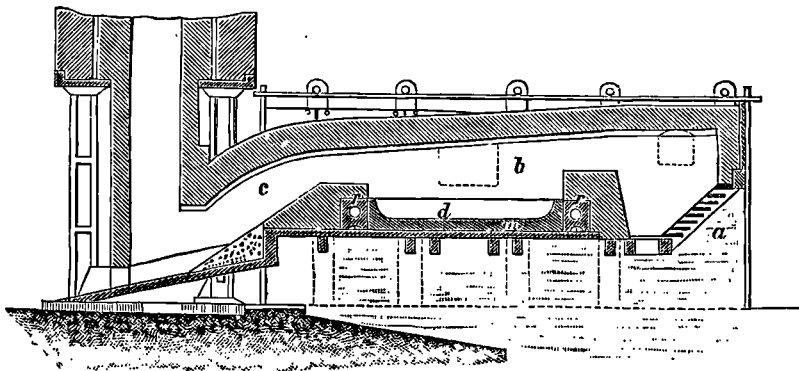


Fig. 367. — Four à puddler (tour à réverbère de fusion à sole horizontale); coupe verticale.

dessus. Les parois latérales du bassin *m* sont entourées de pièces de fonte

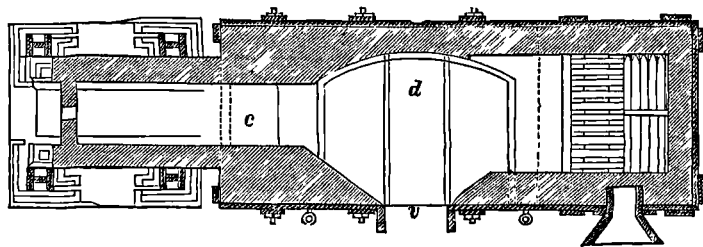


Fig. 368. — Four à puddler; coupe horizontale.

creuses *r, r*. Celles-ci, qui constituent ce que l'on nomme le *tour de feu*,

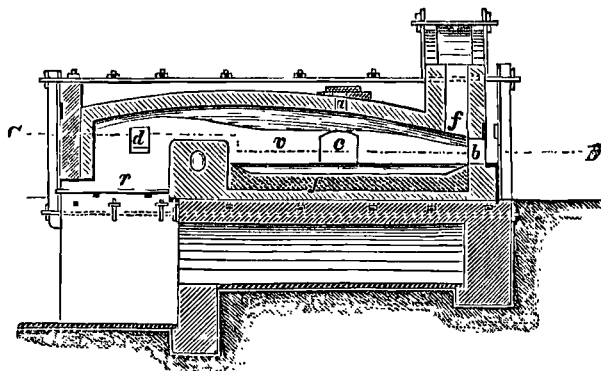


Fig. 369. — Four à raffiner le cuivre (four à réverbère de fusion à sole horizontale); coupe verticale suivant AB (fig. 370).

sont refroidies au moyen d'eau circulant dans leur intérieur. Le fond de *m*

et ses parois latérales sont garnies de scories riches en oxyde salin de fer, et cette garniture forme la sole proprement dite.

La fonte à transformer en fer malléable est chargée par la porte *v* et le fer fini est retiré par la même ouverture.

Les figures 369 et 370 représentent un four pour le raffinage du cuivre.

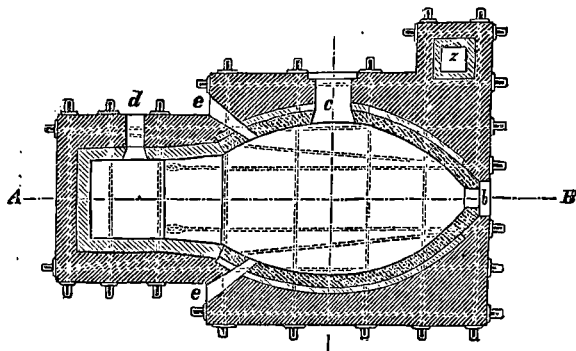


Fig. 370. — Four à raffiner le cuivre; coupe horizontale suivant CD (fig. 369).

*v* est le laboratoire avec sole en quartz, *r* la grille, *d* l'ouverture de chauffe, *f* le rampant; *e, e* sont des canaux pour l'introduction de l'air dans le laboratoire; *a* est une ouverture ménagée dans la voûte pour l'introduction de corps pulvérisés (bioxyde de cuivre et charbon); *c* est une porte

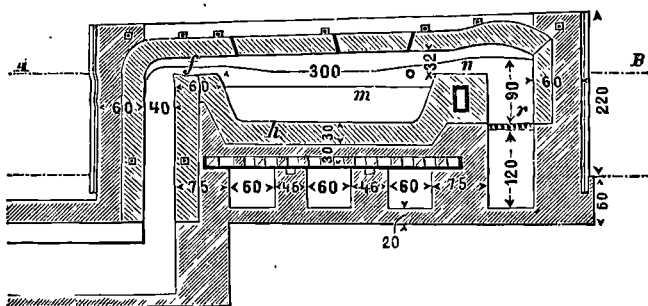


Fig. 371. — Four à raffiner le plomb (four à réverbère de fusion à sole horizontale); coupe verticale et longitudinale suivant CD (fig. 372).

pour charger les gros morceaux sur la sole; *b* est l'ouverture de travail, *z* la cheminée. Le cuivre raffiné est puisé par l'ouverture *b*.

Un four pour le raffinage du plomb impur (par fusion oxydante) est représenté par les figures 371, 372, 373 et 374. *h* est la sole faite en marne, *m* le laboratoire, *r* la grille, *f* le rampant; *n* est le pont de chauffe creux refroidi par de l'eau; *g, g* sont les ouvertures de travail. Le plomb à raffiner est chargé par ces dernières ouvertures et, son épuration achevée, il est retiré du four par le canal de coulée *w*.

Les figures 375 et 376 représentent un four pour le raffinage de l'argent (par fusion oxydante);  $r$  est la grille,  $b$  le laboratoire avec couverture mobile  $c$ ;  $v$  est la sole en marne. Celle-ci repose sur seconde couche de

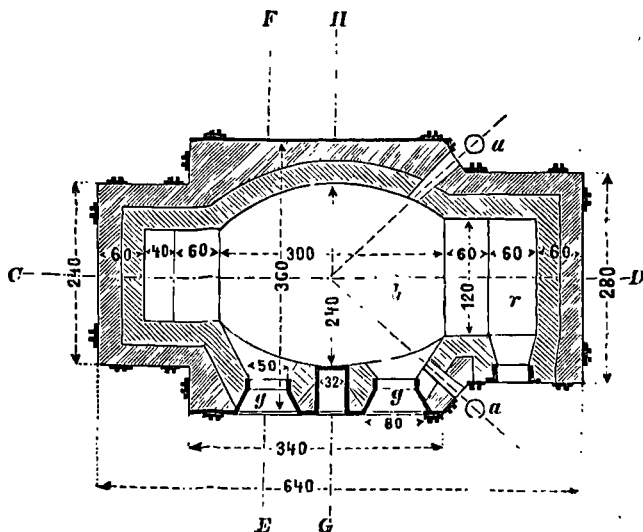


Fig. 372. — Four à raffiner le plomb; coupe horizontale suivant AB (fig. 371).

mârne, qui de son côté repose sur une maçonnerie;  $d$  est le rampant,  $h$  l'ouverture de travail,  $k$  l'ouverture de chauffe.

On nomme **fours de coupellation** les fours qui sont employés pour la séparation du plomb d'avec l'argent.

On distingue les grands fours de coupellation avec sole fixe ou *fours*

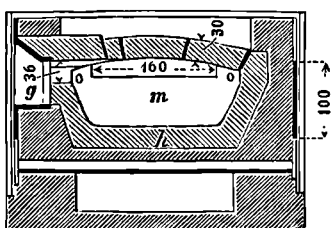


Fig. 373. — Four à raffiner le plomb; coupe transversale suivant EF (fig. 372.)

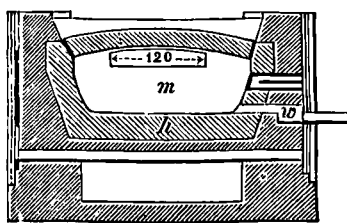


Fig. 374. — Four à raffiner le plomb; coupe transversale suivant GH (fig. 372.)

*de coupellation allemands* et les petits fours, avec soles qui peuvent être retirées du four, ou *fours de coupellation anglais et américains*.

La disposition d'un *four de coupellation allemand* est mise en évidence par les figures 377 et 378;  $r$  est la grille, sous laquelle est amené du vent forcé par la conduite  $w$ ;  $m$  est le laboratoire,  $f$  le rampant partagé en plusieurs parties au moyen de briques réfractaires et par lequel les gaz





dans un châssis en fer et peut être retirée du laboratoire. Le châssis (le *testring*) se compose d'un cercle en fer de forme elliptique *a* (fig. 381) et

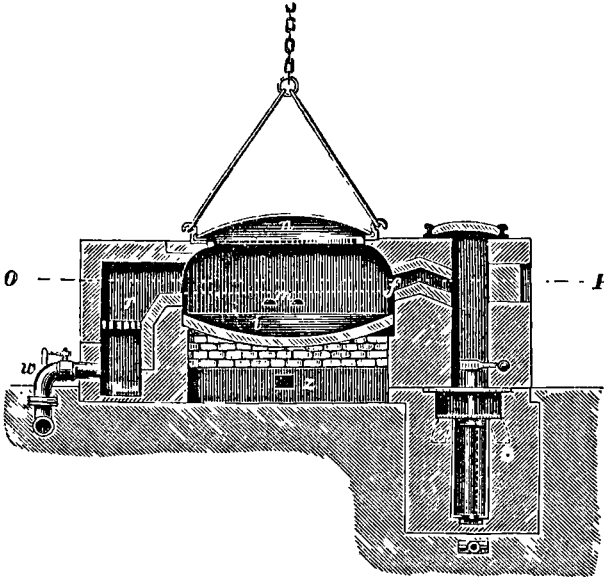


Fig. 377. — Four de coupellation allemand (four à réverbère de fusion à sole horizontale); coupe verticale suivant MN (fig. 378).

de traverses *b* également en fer. Il est placé dans le laboratoire sous un anneau en fonte, dit *compassring*. Sur l'un des côtés courts de l'ellipse, on

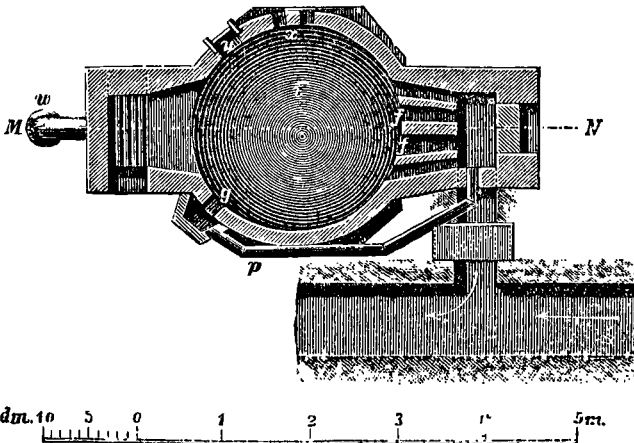


Fig. 378. — Four de coupellation allemand; coupe horizontale suivant OP (fig. 377).

creuse les rigoles ou voies des litharges *d, d, d* (fig. 382), desquelles celles-ci coulent dans des vases placés au-dessous de la coupelle par des trous

pratiqués dans la masse de celle-ci à l'extrémité des rigoles. Le plomb à coupler est fondu dans des chaudières particulières et de celles-ci il est ensuite écoulé sur la coupelle, ou bien il est déposé dans les canaux *f, f* (fig. 380), où il fond et coule ensuite sur la coupelle. *i* est l'ouverture de travail ; *e* (fig. 379 et 380) est une ouverture pour l'introduction de vent soufflé

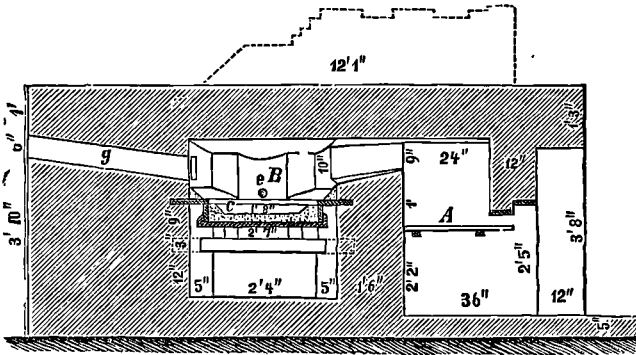


Fig. 379. — Four de coupellation anglais (four à réverbère de fusion à sole horizontale) ; coupe verticale.

dans le laboratoire. Si le plomb d'œuvre ne doit subir dans le four qu'un enrichissement en argent par séparation d'une partie du plomb, le plomb enrichi est évacué, par un trou de coulée ménagé dans la sole, dans un vase placé au-dessous de celle-ci.

Les fours américains de coupellation sont également plus petits que

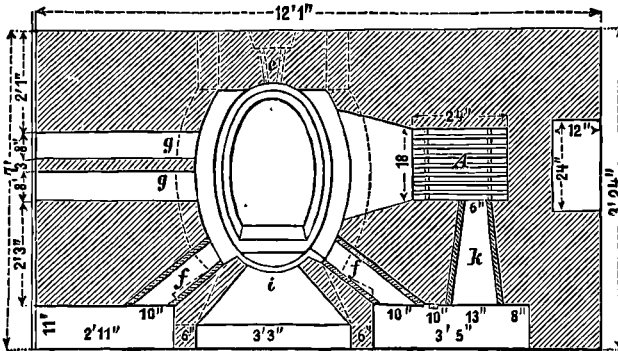


Fig. 380. — Four de coupellation anglais ; coupe horizontale.

les fours allemands et il en est qui sont refroidis au moyen d'une chemise d'eau. La disposition d'un four américain avec sole rectangulaire sans refroidissement par l'eau est mise en évidence par les figures 383 à 387. *x* est la grille, *B* le laboratoire, *F* le rampant divisé en trois parties par des languettes. *G* est un canal vertical pour l'entraînement des gaz du foyer dans des chambres à poussières. Le four est entouré de plaques de

fonte. La voûte du four *y* s'abaisse fortement à partir du côté de la grille jusqu'au rampant, afin d'obtenir dans le four la température nécessaire; *k* est l'anneau en fonte, le *compassring*, dans lequel est poussé le châssis de la coupelle, le *testring*, reposant sur des roues (le châssis n'est

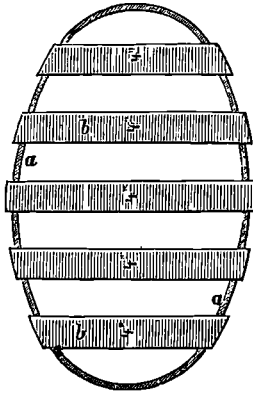


Fig. 381. — Châssis ou testring d'une coupelle anglaise.

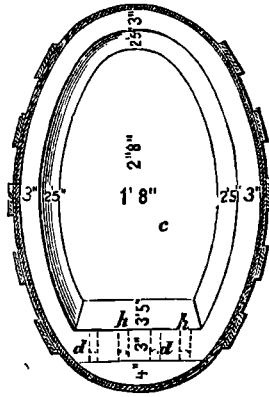


Fig. 382. — Coupelle anglaise.

pas visible dans la figure). Le *compassring* a la forme d'un rectangle à angles arrondis, dont la continuité n'est interrompue que dans le point où se trouve la voie des litharges *q*; *n* est une ouverture pratiquée dans

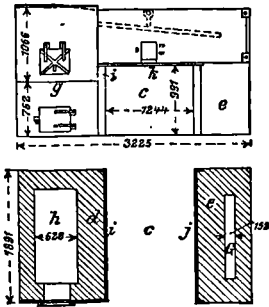


Fig. 383 et 384.

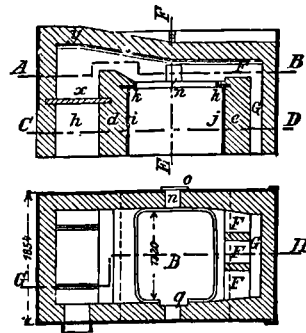


Fig. 385 et 386.

Fig. 383 et 384. — Four de coupellation américain (four à réverbère de fusion à sole horizontale); vue extérieure et coupe horizontale suivant CD (fig. 385).

Fig. 385. — Four de coupellation américain; coupe verticale suivant GII (fig. 386).

Fig. 386. — Four de coupellation américain; coupe horizontale suivant AB (fig. 385).

la paroi postérieure du four et que l'on peut fermer par une porte à coulisse *o*; elle sert pour l'introduction du tuyau amenant le vent. Le *testring* est représenté par les figures 388 et 389. Il repose sur des roues, il est en fonte et a la forme d'un rectangle à angles arrondis; *y* est un calibre en

fer, que l'on ne pose que lors du battage de la coupelle et autour duquel la masse des parois latérales de cette dernière est pilonnée.

Parmi les fours pour l'extraction du plomb (d'après le procédé par grillage et réaction, dans lequel on grille la galène et on laisse ensuite agir le sulfate et l'oxyde de plomb de sur le sulfure de plomb non décomposé),

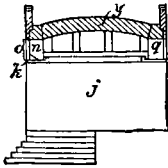


Fig. 387.

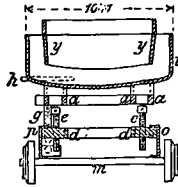


Fig. 388.

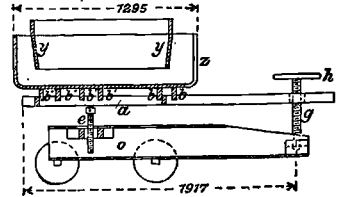


Fig. 389.

Fig. 387. — Four de coupellation américain; coupe verticale suivant EF (fig. 383).

Fig. 388. — Testring d'une coupelle américaine; coupe transversale.

Fig. 389. — Testring d'une coupelle américaine; coupe longitudinale.

nous représentons par les figures ci-jointes, le four à réverbère anglais et le four à réverbère de Tarnowitz.

Les figures 390, 391, 392 et 393 représentent le four employé en Angleterre, à *Stiperstone*.

$z$  est la grille avec ouverture de chauffe  $g$ ; A est le laboratoire;  $c, c$  sont

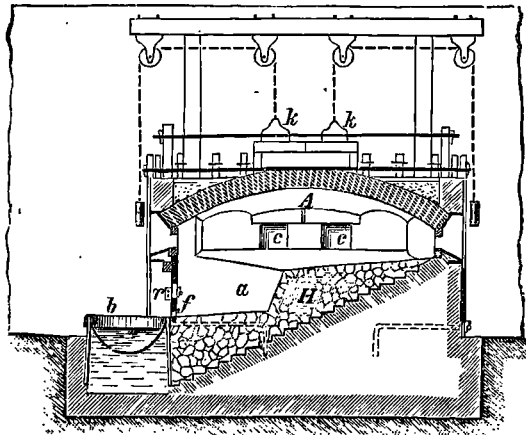


Fig. 390. — Four à réverbère anglais à sole horizontale pour l'extraction du plomb par grillage et réaction; coupe transversale.

les rampants;  $e$  est le canal conduisant à la cheminée; H est la sole faite d'un mélange de scories et de quartz et qui se termine par un bassin  $a$ ;  $i, i$  sont les ouvertures de travail. Par la trémie  $l$  et une ouverture correspondante pratiquée dans la voûte du laboratoire, les minerais sont chargés dans ce dernier. Le plomb rassemblé dans le bassin intérieur  $a$  est

évacué de temps en temps, par le trou de coulée *f*, dans le bassin extérieur *b*.

Le *four de Tarnowitz* est représenté par les figures 394 et 395. A est la grille, B le laboratoire, *c* le rampant séparé en plusieurs parties par des

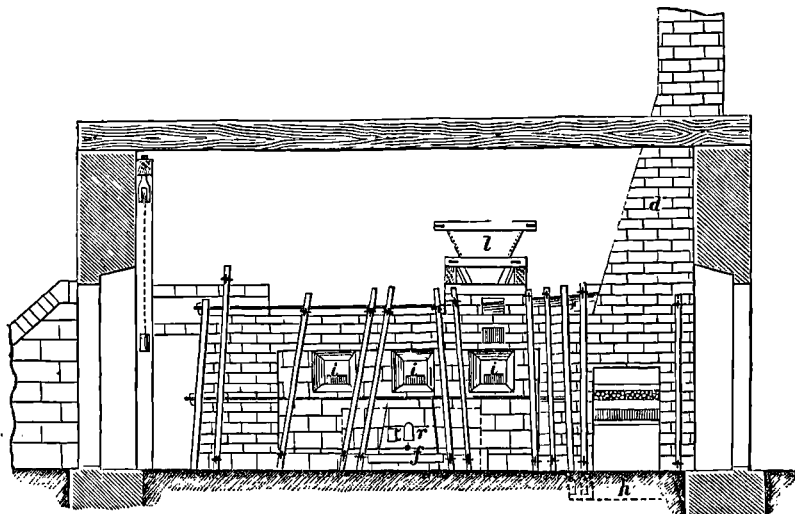


Fig. 391. — Four anglais pour l'extraction du plomb ; vue extérieure.

languettes en maçonnerie, D la sole faite d'un mélange de brasque et de scories d'affinage et aboutissant devant le rampant à un bassin *a* (où le

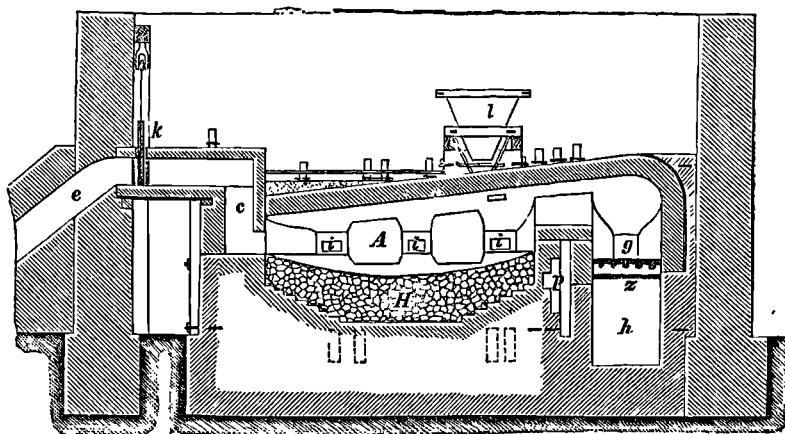


Fig. 392. — Four anglais pour l'extraction du plomb ; coupe longitudinale.

plomb est préservé de la volatilisation), *f*, *f* sont les ouvertures de travail ; *g* est l'ouverture de chargement des minerais, ménagée dans la voûte du laboratoire. Du bassin intérieur *a*, le plomb liquide est percé dans le



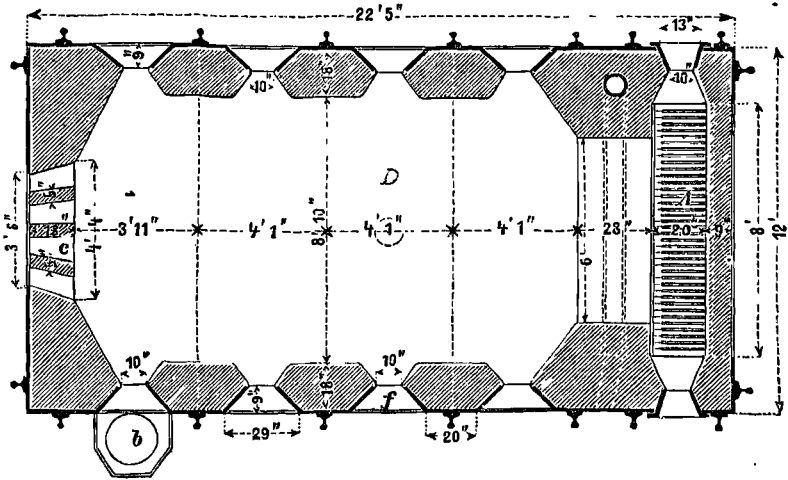


Fig. 395. — Four de Tarnowitz pour l'extraction du plomb par grillage et réaction ; coupe horizontale.

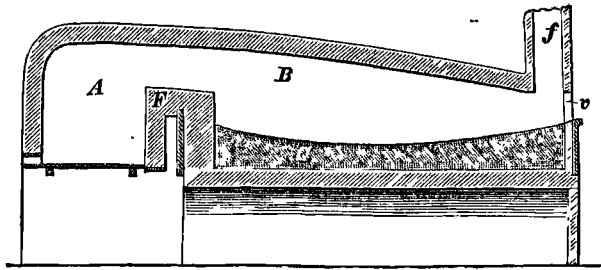


Fig. 396. — Ancien four à réverbère anglais (four gallois) pour le traitement des minerais de cuivre sulfurés ; coupe verticale et longitudinale.

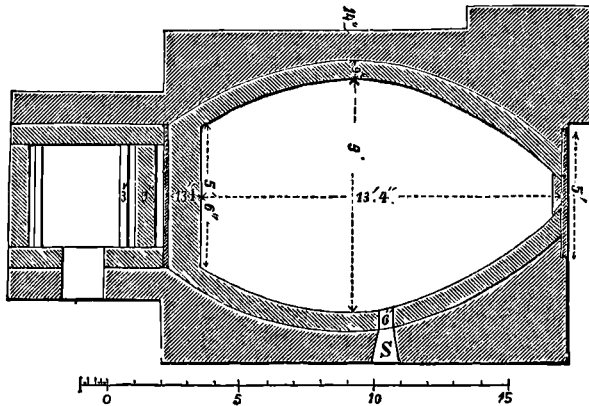


Fig. 397. — Ancien four à réverbère anglais pour le traitement des minerais de cuivre sulfurés ; coupe horizontale.



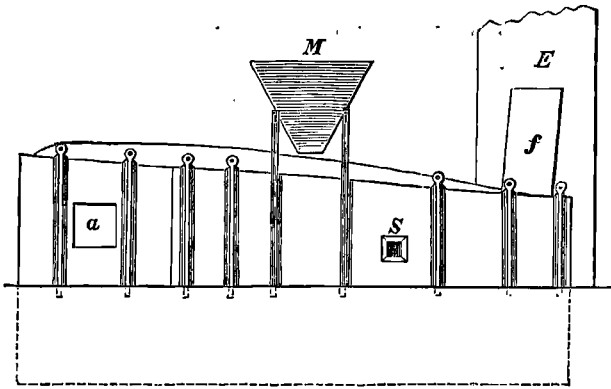


Fig. 398. — Ancien four à réverbère anglais pour le traitement des minerais de cuivre sulfurés; élévation latérale.

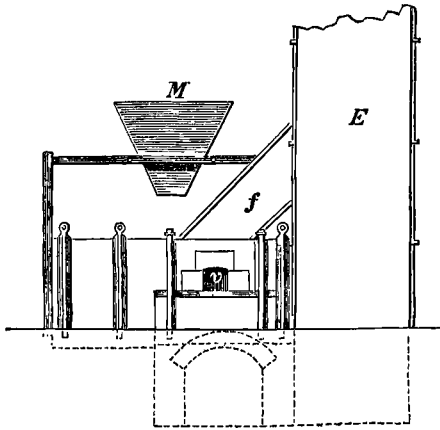


Fig. 399. — Ancien four à réverbère anglais pour le traitement des minerais de cuivre sulfurés; élévation de l'extrémité du côté de la cheminée.

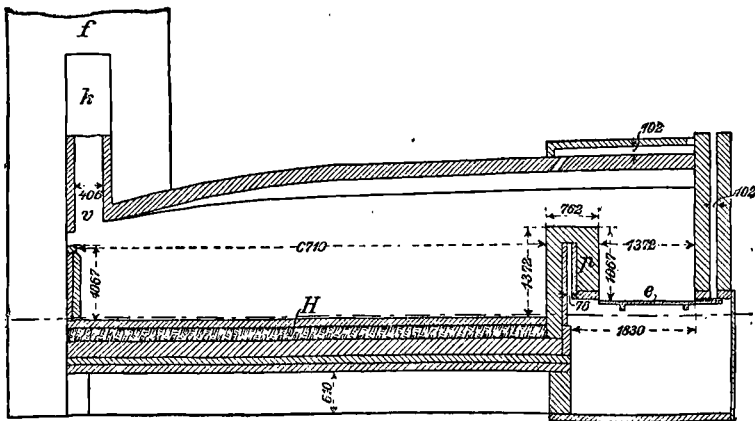


Fig. 400. — Four à réverbère américain pour le traitement des minerais de cuivre sulfurés; coupe longitudinale.



avec la cheminée *f*; *p* est le pont de chauffe. On écoule la scorie dans des marmites à scories placées devant le four; de ces vases, elle passe

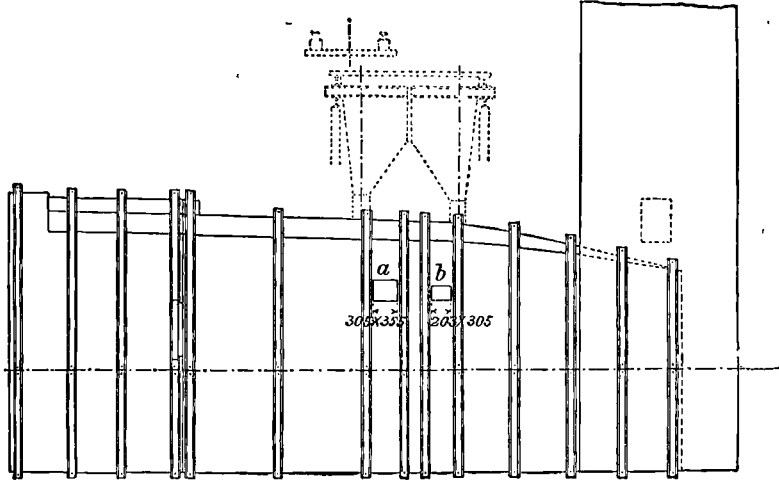


Fig. 403. — Four à réverbère américain pour le traitement des minerais de cuivre sulfurés; élévation latérale (côté de l'ouverture d'écoulement des scories).

dans des gouttières en fonte qui la conduit devant l'usine, où elle tombe sur des wagonnets (ou dans un courant d'eau) qui la transportent

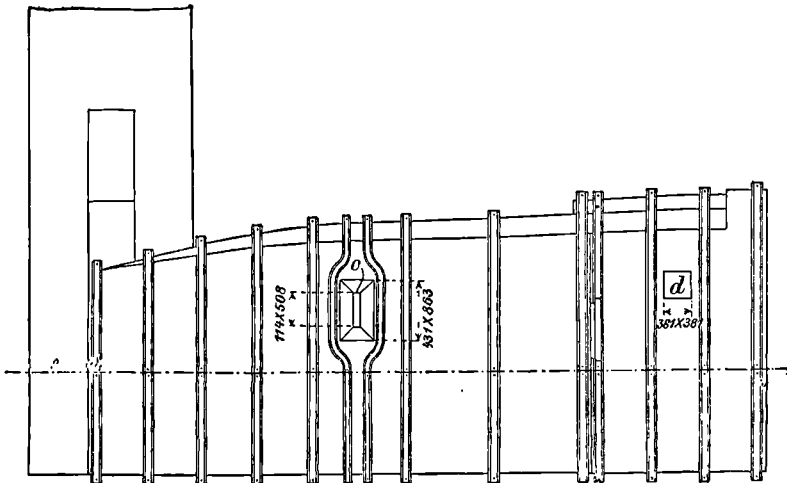


Fig. 404. — Four à réverbère américain pour le traitement des minerais de cuivre sulfurés; élévation latérale (côté du trou de coulée de la matre).

en un lieu convenable. Si la scorie est en grande quantité, on la fait aussi écouler par l'ouverture de travail *h*.

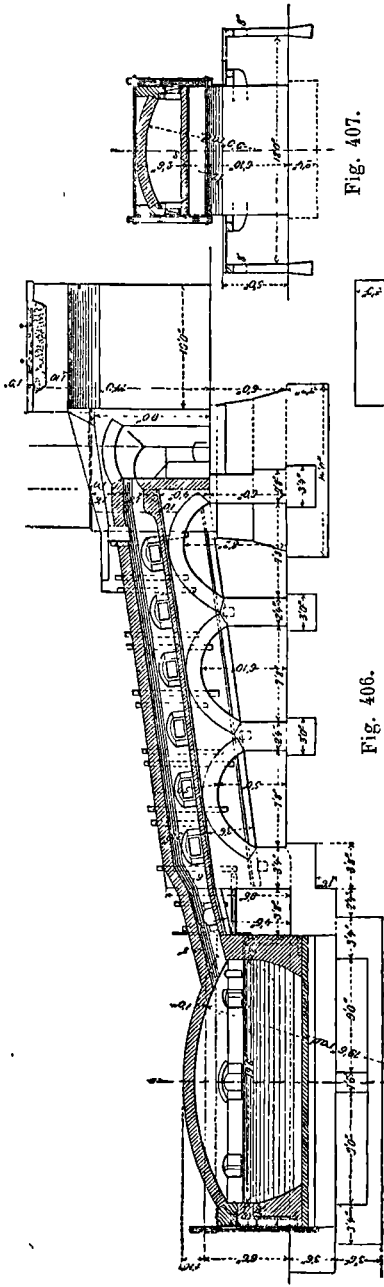


Fig. 406.

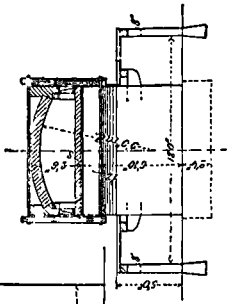


Fig. 407.

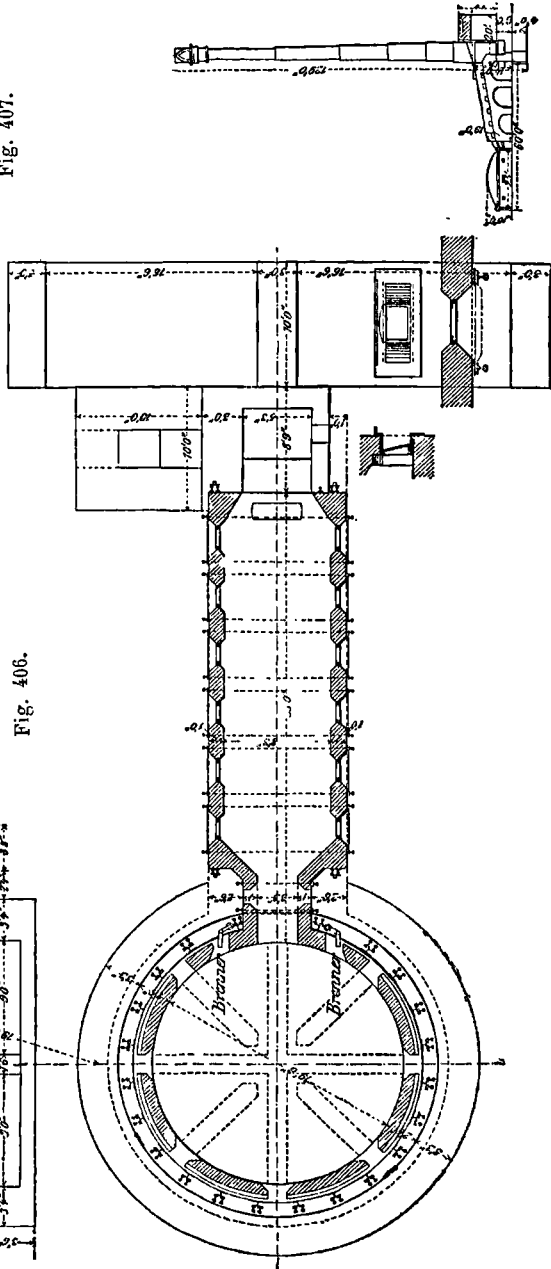


Fig. 408.

Fig. 403. — Fours à naphte pour la fonte et le grillage des minerais de cuivre (Caucase); plan.  
 Fig. 406. — Fours à naphte pour la fonte et le grillage des minerais de cuivre; section longitudinale et verticale.  
 Fig. 407. — Fours à naphte. — Fours à naphte; section transversale et verticale par le four de grillage.  
 Fig. 408. — Fours à naphte; vue extérieure des deux fours et de la cheminée. (Brenner = Brûleur.)

*Fours avec laboratoire fixe et chauffage par des combustibles liquides.*

Comme combustible, on emploie le naphte brut ou les résidus de naphte (masut).

Les figures 405 à 408 représentent un four à réverbère chauffé au naphte pour la fonte de minerais sulfurés pyriteux de cuivre; ce four, qui a été indiqué par FRIEDRICH SIEMENS et est employé à Kedabeg, dans le Caucase, est en communication avec un four de grillage incliné (four à pelletage continu). La figure 405 représente le plan du four de fusion et du four de grillage; la figure 406 est une section longitudinale et verticale à travers les deux fours; la figure 407 une section transversale et verticale par le four de grillage et la figure 408 une vue des deux fours avec la cheminée. Par les deux brûleurs visibles dans la figure 405, le naphte arrive pulvérisé dans le four à réverbère et s'enflamme. La flamme lancée obliquement traverse la masse du minerai et revient ensuite sur elle-même pour se rendre à la cheminée, en traversant le four de grillage.

*Fours avec laboratoire fixe et chauffage au gaz.*

On a recours au *chauffage par le gaz* principalement dans la fabrication du fer doux. Pour la préparation des autres métaux en fours à réverbère,

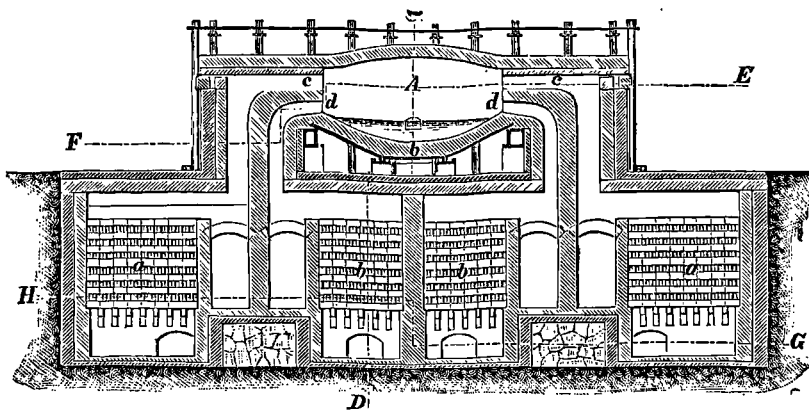


Fig. 409. — Four à gaz Martin-Siemens pour la fabrication de l'acier fondu; coupe verticale et longitudinale suivant AB (fig. 412).

il ne trouve que rarement emploi, parce que dans ce cas de hautes températures ne sont pas nécessaires.

On emploie comme gaz le *gaz de gazogène*, le *gaz à l'eau*, ou le *gaz naturel*. On ne se sert que rarement de gaz à l'eau et seulement pour de très hautes températures. Le gaz naturel n'est qu'exceptionnellement employé (Pittsburg, en Pensylvanie). Comme les gaz brûlés sortent du four avec une très haute température, on les emploie pour le chauffage des régénérateurs. Le laboratoire possède une forme symétrique.

Les figures 409 à 412 représentent un four de cette espèce avec chauffage Siemens, le four à acier de Fr. Siemens (four pour la préparation de l'acier fondu d'après le procédé Martin).

A est le laboratoire. Afin de mieux utiliser la chaleur rayonnante de la flamme, la voûte est bombée comme le montre la figure 409; *b* est la sole

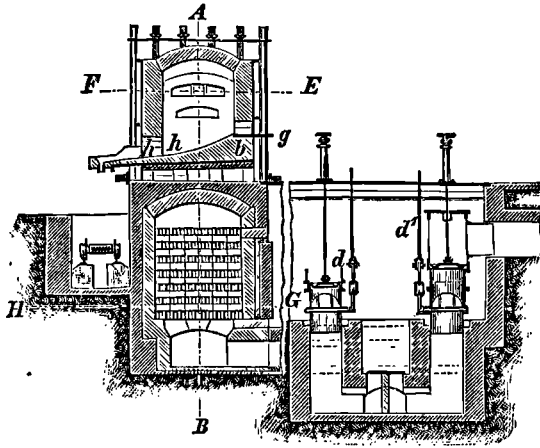


Fig. 410. — Four à gaz Martin-Siemens; coupe verticale et transversale suivant CD (fig. 409).

inclinée vers le trou de coulée *h*. Suivant l'espèce du procédé appliqué (procédé acide ou procédé basique), la sole est faite d'une matière réfractaire acide (riche en acide silicique), ou basique (riche en chaux ou en magnésie). *a*, *a* sont les régénérateurs pour le chauffage de l'air, *b*, *b* les

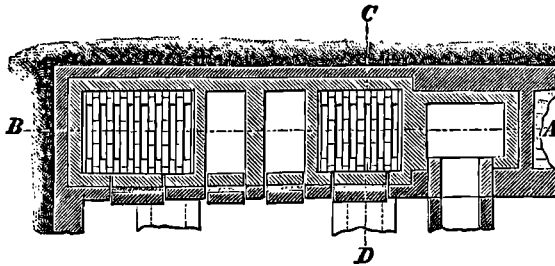


Fig. 411. — Four à gaz Martin-Siemens; coupe horizontale suivant IIG (fig 409).

régénérateurs pour le chauffage du gaz; *c*, *c* sont les ouvertures d'entrée de l'air dans le laboratoire, *d*, *d* les ouvertures d'entrée du gaz. Les gaz brûlés passent alternativement du côté du laboratoire opposé aux ouvertures d'entrée de l'air et du gaz, par les canaux à air et à gaz qui se trouvent de ce côté, dans les régénérateurs correspondant à ces canaux et ensuite dans la cheminée. *d* et *d'* sont les dispositifs pour le renversement des courants d'air et de gaz. Les matières qui servent pour la pré-

paration de l'acier fondu sont chargées dans le four par l'ouverture *g*. Le produit liquide est évacué du four par le trou de coulée *h*.

La disposition d'un four Martin (pour la préparation du fer fondu ou de

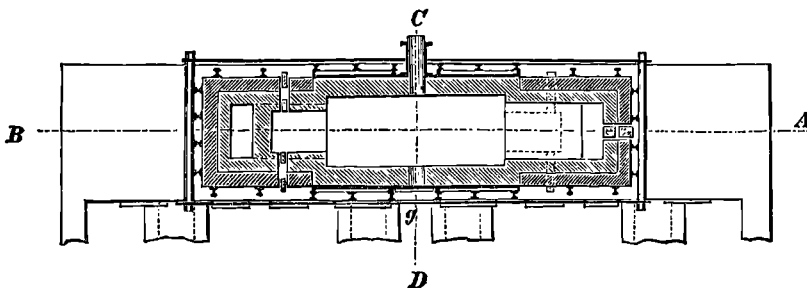


Fig. 412. — Four à gaz Martin-Siemens; coupe horizontale suivant FE (fig. 409).

l'acier fondu) avec *chauffage au gaz à l'eau* est mise en évidence par les figures 413 et 414.

A est le laboratoire, muni d'une voûte sphérique *K*; il offre une section

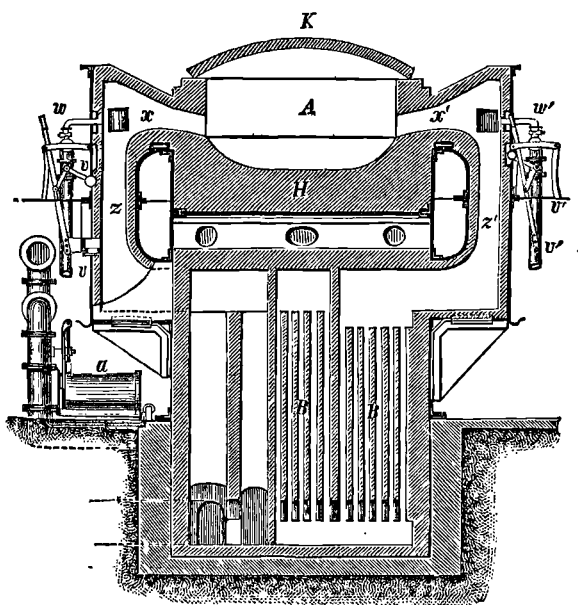


Fig. 413. — Four Martin avec chauffage au gaz à l'eau pour la fabrication du fer ou de l'acier fondu; coupe longitudinale.

horizontale circulaire. *H* est la sole, faite d'une matière basique ou acide et inclinée vers le trou de coulée *S*. *B, B* sont les régénérateurs chauffés par les gaz brûlés et par lesquels est réchauffé l'air de combustion (mais non le gaz). Comme dans le chauffage Siemens, l'air et le courant de gaz

entrent alternativement d'un côté et de l'autre du laboratoire. De même, les gaz brûlés sortent du laboratoire ou se rendent dans les régénérateurs tantôt d'un côté, tantôt de l'autre. Des conduites tubulaires  $v$  et  $v'$  venant du gazogène, le gaz à l'eau pénètre de chaque côté par cinq buses  $w$  et  $w'$  dans les canaux  $x$  et  $x'$ ; là il se mélange avec l'air de combustion fortement chauffé dans les régénérateurs, et arrivant par les canaux  $z$  et  $z'$ , il

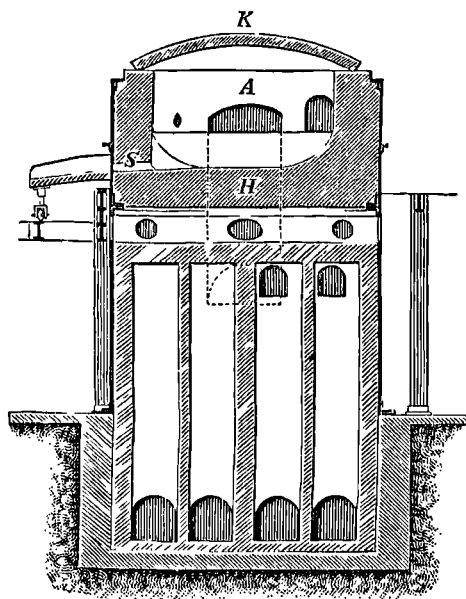


Fig. 414. — Four Martin avec chauffage au gaz à l'eau ; coupe transversale.

s'enflamme et pénètre alors dans le laboratoire. Les différentes buses à gaz et les tubes à gaz peuvent être fermés et ouverts les premières à l'aide de robinets, les seconds au moyen de valves. Le renversement de celles-ci est produit par un levier et celui des robinets des buses à gaz par des tirants. L'air est amené par une soufflerie. Le courant de l'air est réglé au moyen de valves placés dans le tube adducteur de l'air ou de tiroirs établis dans les canaux à air.

#### *Fours basculants.*

Les **fours basculants** ou *oscillants* possèdent un laboratoire que l'on peut faire basculer, afin d'en évacuer, une fois la fusion achevée, les masses fondues qu'ils renferment.

On emploie ces fours aux Etats-Unis de l'Amérique du Nord pour la fabrication du fer fondu par le procédé Martin, ainsi que pour la fonte des minerais de cuivre. Dans les deux cas, le chauffage a lieu par le gaz. La disposition d'un four pour la fabrication du fer est mise en évidence par les figures 415 et 416<sup>1</sup>. Le laboratoire  $a$ , enfermé dans une armature en fer

<sup>1</sup> DÜRRE, *Vorlesungen über allgemeine Hüttenkunde*, p. 314.



fixe, repose sur des supports en fer *b* avec surface de glissement en forme d'arc. De leur côté, ces supports sont reliés entre eux par des tiges transversales, et ils reposent sur une série de galets *r* avec coussinets fixes.

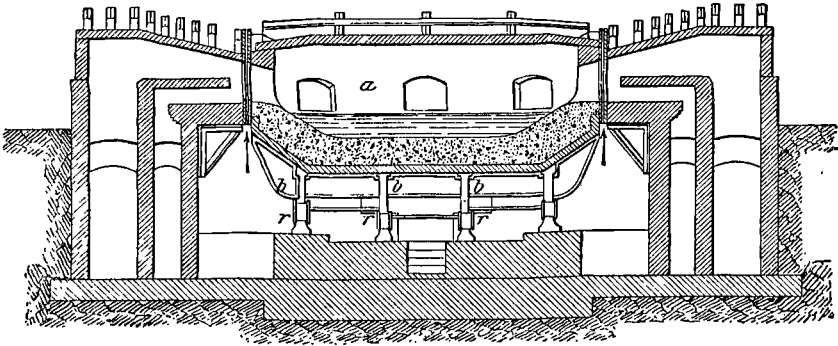


Fig. 413. — Four Martin basculant; coupe longitudinale.

Le basculement du four est produit au moyen d'une petite machine à vapeur, et l'on peut ainsi en évacuer tout le contenu liquide.

Le mouvement de bascule du laboratoire des fours à cuivre employés à

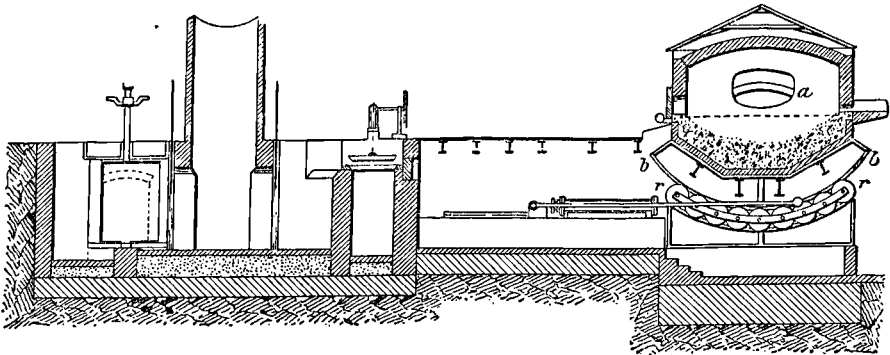


Fig. 416. — Four Martin basculant; coupe transversale.

Great-Falls (Montana) n'est d'abord produit, à l'aide d'un piston hydraulique, qu'au degré qui suffit pour que la scorie s'écoule rapidement et pure; par un basculement plus complet, la matte cuivreuse est versée dans des récipients en fer garnis d'argile.

#### Fours avec laboratoire partiellement mobile.

De pareils fours ont été employés il y a quelque temps pour la fabrication du fer soudé avec la fonte (*puddlage*). Actuellement, ils ne sont plus usités. Ils possèdent une sole rotative en forme de cuvette et sont aussi nommés pour cette raison *fours à cuvette*.

Un four à cuvette bien connu, le four de Pernot, est représenté par les figures 417 et 418. A est la grille, B le laboratoire, C la sole rotative, faite

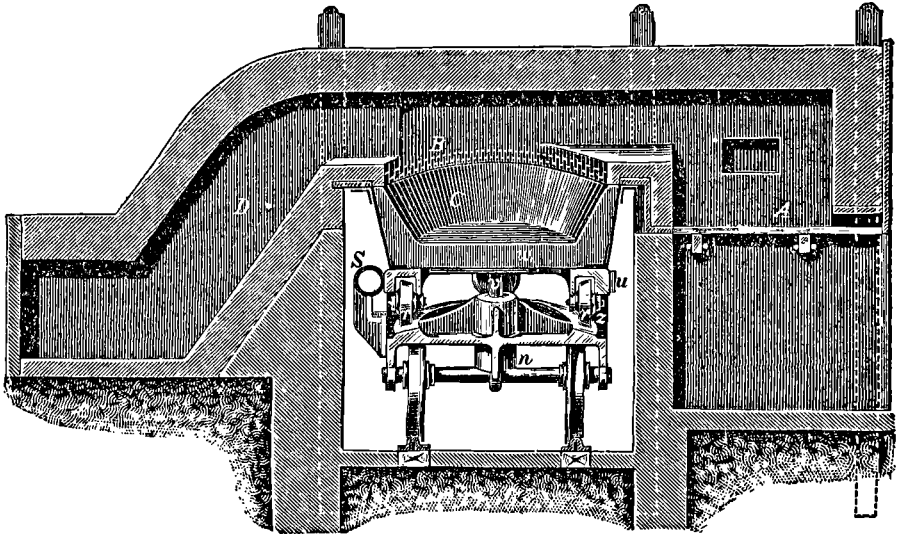


Fig. 417. — Four de fusion à laboratoire partiellement mobile (four Pernot); coupe longitudinale.

en tôle de fer et muni d'un revêtement réfractaire; D est le rampant. La

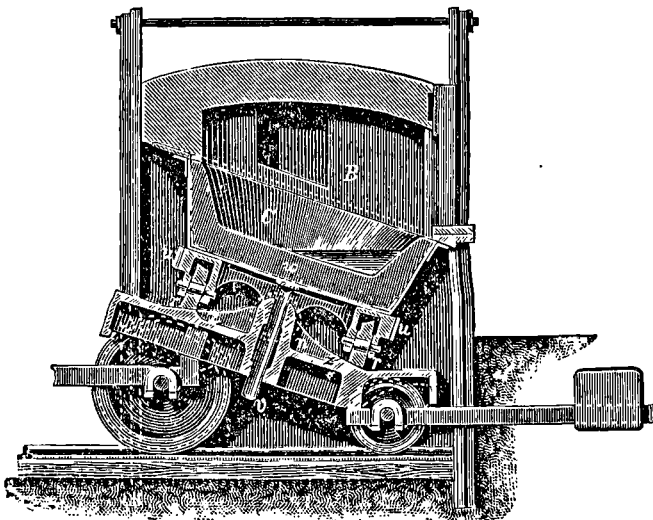


Fig. 418. — Four de fusion à laboratoire partiellement mobile; coupe transversale, sole est fixée à un axe incliné *v*, qui peut tourner dans le moyeu *n*, et en outre elle repose sur des galets *r*, roulant sur les plaques de fer *z*. A la

plaque du fond *w* de la sole est fixée une couronne dentée, dans laquelle s'engrène une vis sans fin *S* et qui par son mouvement produit la rotation de la sole. Pendant qu'elle tourne, cette dernière est appliquée fortement sur le laboratoire par des leviers et des contrepoids. Comme la sole repose sur des roues, elle peut être retirée seule du four.

La fonte était introduite à l'état liquide dans le laboratoire, puis elle était décarburée au moyen de scories contenant de l'oxyde salin de fer (scories d'affinage), qui étaient mises en contact intime avec elle par rotation de la sole, après quoi elle était réunie en loupes également par la rotation de celle-ci.

#### Fours avec laboratoire mobile.

##### *A mouvement continu.*

Ces fours servaient autrefois pour la préparation du *fer soudé* avec la fonte et on les a employés aussi à titre d'essai pour la fabrication directe du fer fondu avec des minerais. Ils ne sont plus actuellement usités. Le laboratoire *tournait* généralement autour d'un axe horizontal; ce n'est

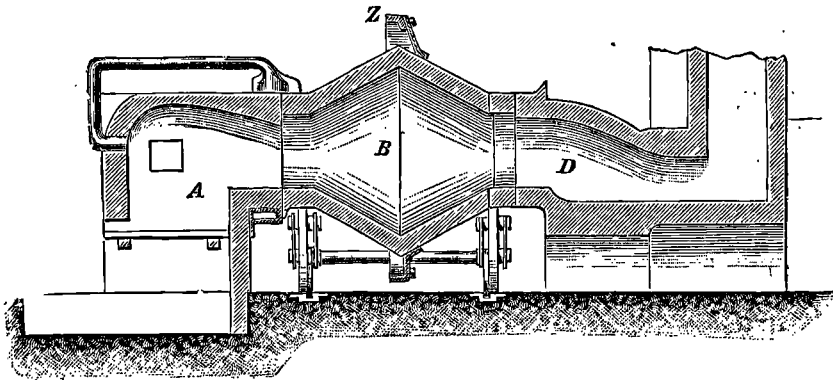


Fig. 419. — Four de fusion à laboratoire rotatif de Howson et Thomas.

qu'exceptionnellement qu'on lui communiquait, au lieu d'un mouvement de rotation, un mouvement oscillant.

Les laboratoires rotatifs étaient cylindriques ou ovoïdes, ou bien ils offraient la forme d'un cône ou d'un double cône.

La figure 419 représente un four avec laboratoire rotatif en forme de double cône et avec foyer à grille. Ce four, indiqué par Howson et Thomas, servait pour la préparation du fer soudé avec de la fonte. A est le foyer à grille, B le laboratoire roulant sur des galets, D le rampant. Le laboratoire est entouré d'une chemise en tôle de fer et muni d'une couronne dentée Z, dans laquelle s'engrène un pignon, qui lui communique son mouvement de rotation.

Le four cylindrique de DANKS, qui servait également pour la préparation du fer soudé, est représenté par la figure 420. A est le foyer avec vent forcé sous la grille; B est le laboratoire mobile, roulant également sur des

galets  $r$  et muni intérieurement d'un revêtement en sesquioxyde de fer ; il est consolidé par des nervures en fer. C est le rampant ; il est suspendu à une chaîne et peut être remonté, de façon que l'on puisse pénétrer dans le laboratoire.  $m, m, m$  sont des tubes en fer, à l'aide desquels de l'eau froide est amenée dans les parois du laboratoire et du rampant, et l'eau réchauffée s'en écoule. Autour du laboratoire est appliquée une ceinture

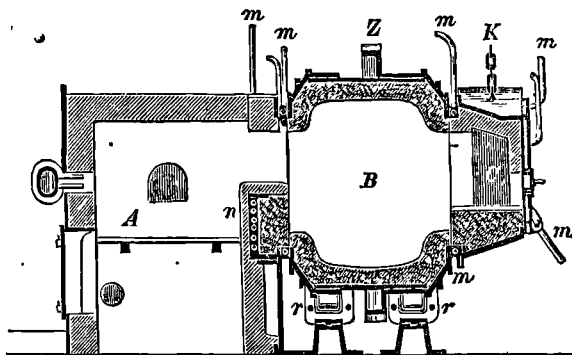


Fig. 420. — Four de fusion cylindrique rotatif de Danks.

dentée  $Z$ , dans laquelle s'engrène un pignon ; c'est à l'aide de ce dispositif que le laboratoire est mis en rotation.

Dans les fours rotatifs avec chauffage au gaz, l'entrée de l'air et du gaz dans le laboratoire et la sortie des gaz brûlés de ce dernier avaient lieu du même côté. (Fours de SELTERS, de SIEMENS.)

Comme exemple d'un four avec mouvement oscillant du laboratoire, nous mentionnerons le four à puddler de MENESSIER. Il consistait en un cylindre établi entre un foyer à grille et un rampant fixes et qui était soumis à un mouvement d'oscillation au moyen de leviers.

#### *Fours à mouvement périodique.*

Le four à puddler rotatif de Pietzka est un four de cette espèce. C'est un four à puddler avec deux soles placées l'une derrière l'autre dans le même laboratoire. Sur une sole, on puddle à haute température, tandis qu'en même temps sur l'autre on fait entrer la fonte en fusion à une température moins élevée. On peut faire mouvoir le laboratoire de façon que la sole sur laquelle on puddle soit amenée du côté de l'ouverture d'entrée de la flamme et la sole sur laquelle on fond le fer brut du côté du rampant. Lorsque le puddlage est achevé sur une sole, le fer brut entre en fusion sur l'autre sole. Par la rotation subséquente du laboratoire, la sole contenant la fonte liquide est amenée devant l'ouverture d'entrée de la flamme, tandis qu'en même temps l'autre sole vient se placer devant le rampant et y reçoit une nouvelle charge de fonte. Le four est chauffé par le gaz et il est muni de régénérateurs pour le réchauffage de l'air de combustion.

Le four de PIETZKA est représenté par les figures 421 à 424. A est le laboratoire reposant sur un piston hydraulique ;  $H^1$  et  $H^2$  sont les deux soles

placées l'une derrière l'autre ; M est l'ouverture d'entrée du gaz, F le rampant. La première ouverture, ainsi que celle du rampant sont coupées obliquement, de façon que le laboratoire puisse être soulevé au-dessus de

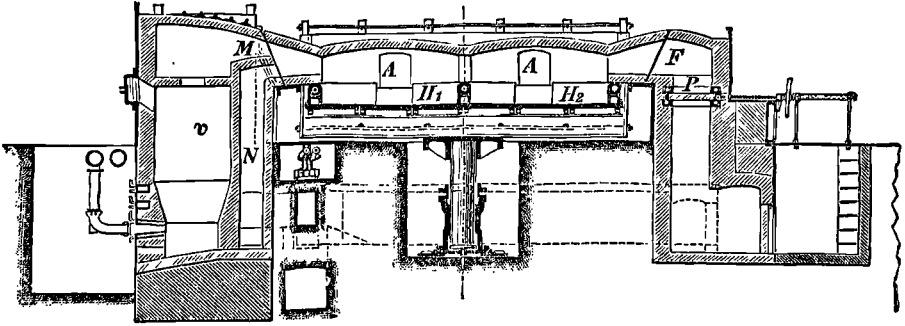


Fig. 421. — Four à puddler rotatif de Pietzka avec chauffage au gaz ; coupe longitudinale.

ces ouvertures et ensuite tourné. Après une rotation de  $180^\circ$ , le laboratoire est abaissé et replacé entre le trou du rampant et le passage de

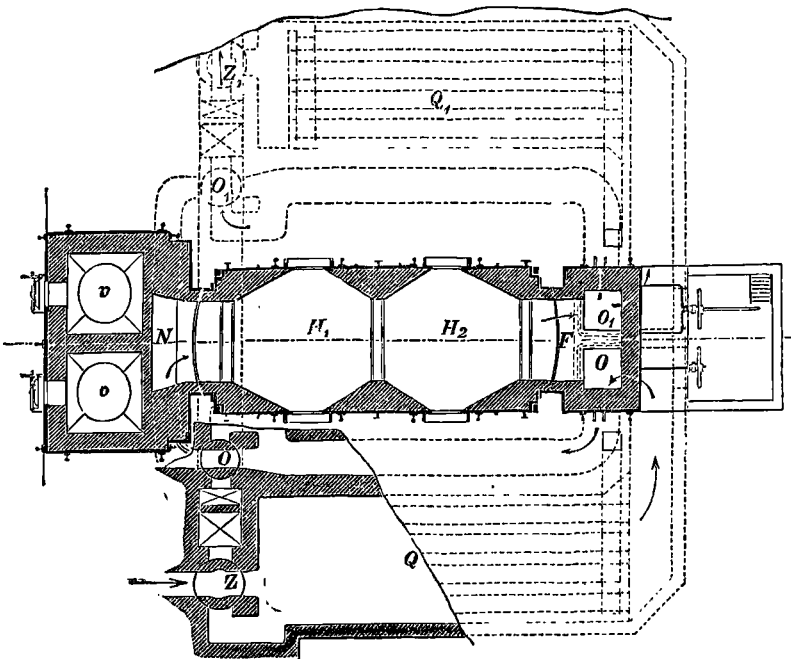


Fig. 422. — Four à puddler rotatif de Pietzka ; coupe horizontale.

la flamme. Les deux soles occupent alors la position inverse de celle qu'elles avaient avant la rotation.

$v, v$  sont les gazogènes alimentés par du vent soufflé. Le gaz de ces

derniers se rencontre en M avec l'air de combustion chauffé arrivant par le canal N. Les gaz brûlés passent par le rampant F alternativement dans les canaux P et P', qui peuvent être fermés au moyen de registres, et

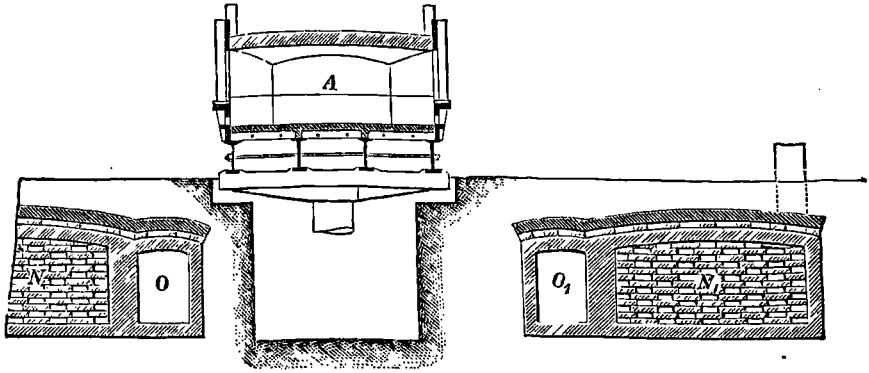


Fig. 423. — Four à puddler rotatif de Pietzka ; coupe transversale.

de ces derniers dans les régénérateurs Q et Q'. De même, l'air de combustion passe alternativement par les régénérateurs, pour se rendre dans le laboratoire. L'air de combustion traverse donc un des régénérateurs en se

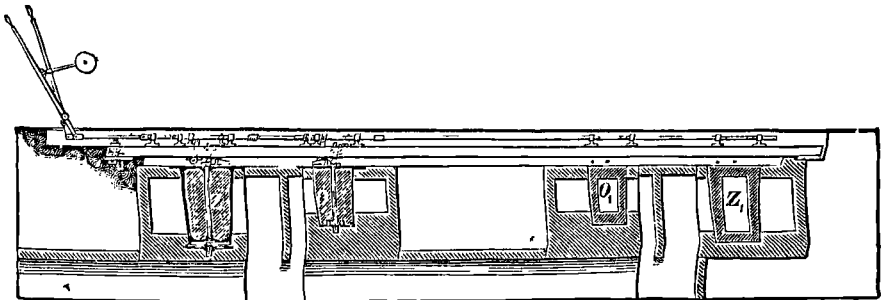


Fig. 424. — Four à puddler rotatif de Pietzka ; appareil de renversement des courants du gaz et de l'air.

rendant dans le laboratoire, tandis qu'en même temps les gaz brûlés traversent l'autre régénérateur en se rendant à la cheminée. La communication alternative des régénérateurs avec la cheminée et le canal adducteur de l'air est obtenue au moyen du dispositif de renversement représenté par la figure 424.

#### Fours à réverbère pour les vaporisations.

On emploie ces fours pour l'extraction du mercure des minerais contenant du cinabre et pour l'extraction de l'acide arsénieux du fer arsénical. Ces fours possèdent un laboratoire fixe.

Comme les résidus que laissent les opérations que l'on y pratique, ne

fondent pas, la sole est plane. Les fours sont disposés comme les fours de grillage ; seulement, ils sont munis de dispositifs pour recueillir le mercure ou l'acide arsénieux volatilés.

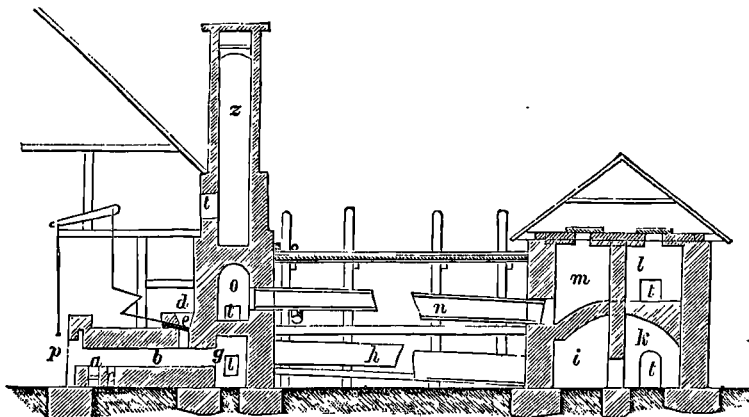


Fig. 425. — Four Alberti pour l'extraction du mercure ; coupe longitudinale.

Les fours pour l'extraction du mercure possèdent un foyer à grille, tan-

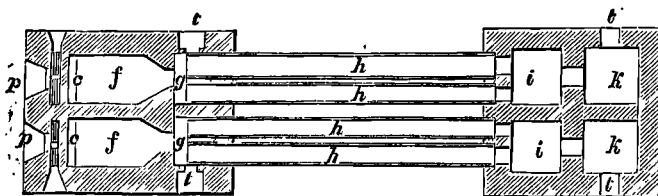


Fig. 426. — Four Alberti ; coupe horizontale,

dis que les fours employés pour la préparation de l'acide arsénieux sont

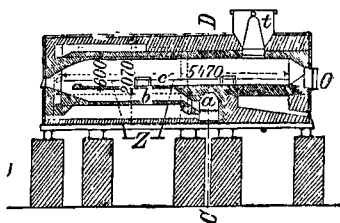


Fig. 427. — Four à pelletage continu blindé de Czermak-Spirek pour l'extraction du mercure ; coupe verticale et longitudinale.

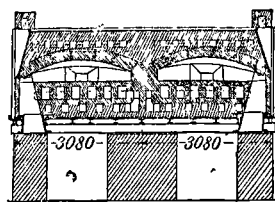


Fig. 428. — Four à pelletage continu blindé de Czermak-Spirek ; coupe suivant AB (fig. 430),

chauffés au gaz, lorsque cet acide doit constituer le produit principal de l'opération.

La disposition d'un *four pour l'extraction du mercure*, le *four d'ALBERTI*, autrefois employé à Idria, est mise en évidence par les figures 425 et 426, qui représentent deux fours réunis. *a* est la grille, *b* le laboratoire, *f* la sole plane, *g* le rampant, par lequel les gaz se rendent dans les appareils de condensation *h, i, k, l, m, n* et *o* et ensuite dans la cheminée *z*. Le mercure se précipite dans ces appareils, tandis que les gaz du foyer et l'acide sulfureux dégagé du cinabre passent

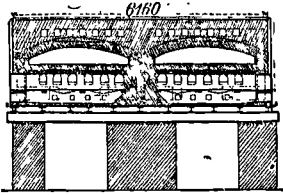


Fig. 429. — Four à pelletage continu blindé de Czermak-Spirek; coupe transversale suivant CD (fig. 427).

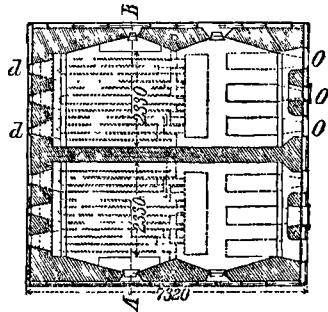


Fig. 430. — Four à pelletage continu blindé de Czermak-Spirek; plan.

dans la cheminée. Les minerais sont chargés dans le laboratoire par l'ouverture *e*, qui se trouve dans la voûte de ce dernier; *p* est l'ouverture de travail; *c* est une fente pour l'extraction des résidus de la distillation.

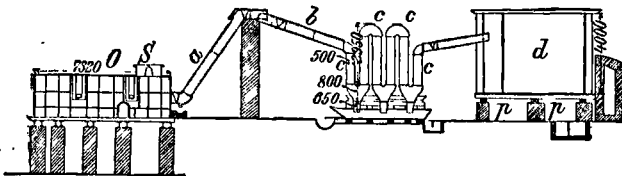


Fig. 431. — Four à pelletage continu blindé de Czermak-Spirek et ses appareils de condensation.

Les fours d'ALBERTI sont actuellement remplacés à Idria par des fours à pelletage continu de CZERMAK-SPIREK, qui sont entourés d'un blindage en fer.

La disposition du four de CZERMAK-SPIREK est représentée par les figures 427 à 431.

Deux fours se trouvent dans un même massif. Le four repose sur un plateau en tôle rivée, destiné à recevoir le mercure qui pénètre à travers la maçonnerie. *a* est le foyer à grille. La flamme passe par les carneaux *b* sous la sole du four, pour se rendre ensuite dans le laboratoire *c*. Les gaz et les vapeurs pénètrent par trois ouvertures dans les appareils de condensation, c'est-à-dire dans des rangées de tubes vernissés et ensuite dans des chambres en bois. *t* est la trémie de chargement. Les résidus de la distillation sont évacués par *Z*. La disposition des condenseurs et leur mode de communication avec le four sont mis en évidence par la figure 431.



## C. — FOURS A BOULANGER

Les fours à boulanger sont des fours dans lesquels le chauffage a lieu uniquement par les parois du four portées au rouge. Ce sont pour ainsi dire des fours à réverbère sans dispositif de chauffage. Les combustibles sont brûlés dans le laboratoire même, et la plus grande partie de la chaleur dégagée est absorbée par les parois du four. Lorsque les parois sont suffisamment chaudes, on retire le combustible du four et l'on y introduit les corps à chauffer. Le chauffage de ces derniers a lieu partie par la chaleur rayonnée par les parois chaudes du four, partie par leur contact avec ces dernières.

Comme la chaleur des combustibles est très mal utilisée dans ces fours, ils ne sont employés que dans des conditions exceptionnelles pour des opérations métallurgiques, comme, par exemple, pour le grillage préliminaire de la matte cuivreuse du Mansfeld, d'après le procédé de ZIERVOGEL. Mais, comme on l'a dit précédemment, on en fait usage pour la carbonisation des houilles (voy. p. 207).

## D. — FOURS A MOUFLES, A CREUSETS, ETC., OU FOURS A VASES

Les fours à moufles, à creusets, à tubes, à cornues, etc., désignés aussi sous le nom collectif de fours à vases, sont des fours dans lesquels le chauffage des corps à traiter a lieu par chauffage extérieur de vases dans lesquels ces corps sont enfermés. Le chauffage de ces vases eux-mêmes a lieu par contact immédiat de leurs parois avec des combustibles solides ou avec des gaz en combustion ou brûlés. Dans ce cas, la chaleur produite est transmise aux corps à chauffer par conduction à travers les parois des vases, par conséquent indirectement. C'est pour cela que la chaleur dégagée est beaucoup moins bien utilisée que dans les fours à flamme et encore moins bien que dans les fours à cuve. L'effet utile s'élève à 2-5 p. 100.

On emploie ces fours, lorsque les corps à chauffer ou les produits du chauffage doivent être préservés du contact des combustibles, des produits de la combustion ou de l'air atmosphérique, ou lorsque les produits gazeiformes du chauffage doivent être amenés à un état de concentration aussi grand que possible.

On se sert pour le chauffage des vases, comme pour les fours à flamme, de combustibles solides, liquides ou gazeux.

Les produits gazeiformes de la combustion sont conduits, de l'espace où celle-ci a lieu, directement dans la cheminée ou, comme c'est le cas pour les fours à réverbère, après avoir servi au chauffage d'autres dispositifs. Lorsqu'on a recours au chauffage par le gaz, les gaz brûlés sont aussi employés pour chauffer des régénérateurs.

La forme et la grandeur des espaces dans lesquels les vases sont chauffés dépendent de la forme, de la grandeur et du nombre des vases. Ces espaces affectent tantôt la forme de cuves, tantôt celle de chambres, tantôt celle de dômes.

Les vases à chauffer sont des creusets, des tubes, des caisses, des cornues, des moules, des cloches, des chaudières, des pots. Ils sont indépendants du four lui-même, ou bien au contraire ils y sont intimement unis et constituent alors une partie essentielle de la construction du four. Dans le premier cas, ils sont retirés du four une fois le chauffage achevé ou bien ils y sont laissés jusqu'à ce qu'ils soient assez détériorés pour devoir être remplacés par de nouveaux vases. Les vases sont entourés par le feu entièrement ou partiellement. Dans le premier cas, ils sont complètement fermés, tandis que dans le second ils restent partiellement ouverts (chaudières) ou communiquent du côté ouvert avec des récipients.

#### *Classification des fours à vases.*

On distingue parmi ces fours les *fours pour les calcinations, pour les fusions et pour les vaporisations.*

#### **Fours à vases pour calcinations.**

Les fours de cette espèce trouvent emploi pour la cémentation oxydante, le grillage, la fabrication de l'acier cémenté, l'extraction du cobalt et du

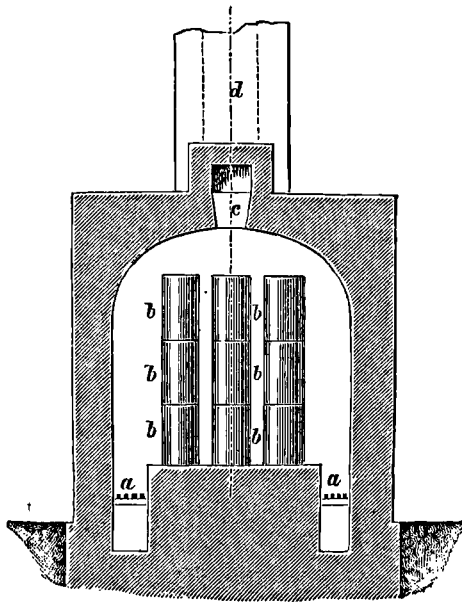


Fig. 432. — Four de cémentation oxydante pour la fabrication de la fonte malléable; coupe verticale.

nickel des oxydes de ces métaux, la préparation de l'éponge de fer avec les oxydes du fer.

Les fours de cémentation oxydante (pour la préparation de la fonte malléable avec le fer brut par décarburation partielle de ce dernier) con-

tiennent les objets à chauffer enfermés dans des caisses en briques réfractaires ou dans des pots en fonte ou en fer doux. Un four de cémentation oxydante de la deuxième sorte est représenté par les figures 432 et 433. *a, a* sont les foyers à grille dont les flammes chauffent les pots *b, b*

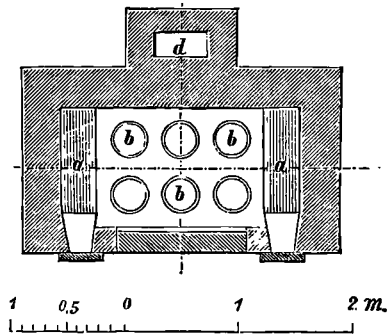


Fig. 433. — Four de cémentation oxydante ; coupe horizontale.

superposés trois par trois. Les produits gazeiformes de la combustion passent, par le rampant *c*, dans la cheminée *d*.

Parmi les fours de grillage, nous mentionnerons les fours pour le grillage chlorurant des minerais de cuivre, ainsi que les fours pour le grillage oxydant de la blende, du cuivre pyriteux et des mattes de cuivre.

On emploie les fours pour le grillage oxydant du cuivre pyriteux, des

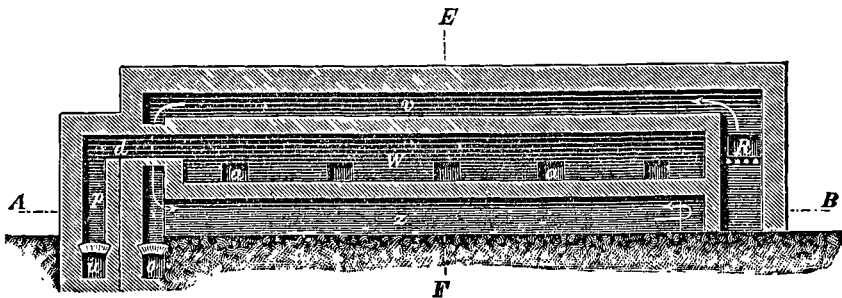


Fig. 434. — Four à moufle pour le grillage chlorurant des minerais de cuivre ; coupe longitudinale suivant CD (fig. 435).

mattes de cuivre et de la blende, lorsque l'acide sulfureux résultant du grillage doit être rendu inoffensif ou utilisé.

La disposition d'un four pour le grillage chlorurant de minerais de cuivre est mise en évidence par les figures 434 à 436.

*R, R* sont deux grilles ; *W* est le vase, le moufle, dans lequel a lieu le chauffage. La flamme passe d'abord dans les carneaux *v* au-dessus du moufle, elle descend ensuite et pénètre dans les carneaux *z, z*, qu'elle parcourt en sens inverse des premiers ; après avoir de nouveau changé de direction elle passe dans les carneaux *x, x*, pour se rendre, par le canal

vertical  $y$ , dans le conduit  $o$  aboutissant à la cheminée. Les gaz résultant du grillage, qui contiennent du chlore et de l'acide chlorhydrique, passent du moufle, par l'ouverture  $d$  et le canal vertical  $p$ , dans le canal  $u$ , qui les conduit dans une tour de condensation, où de l'eau tombe sous forme d'une pluie, afin de recueillir les gaz nuisibles.  $a, a$  sont les ouvertures de travail, d'introduction de l'air et d'extraction des masses grillées.

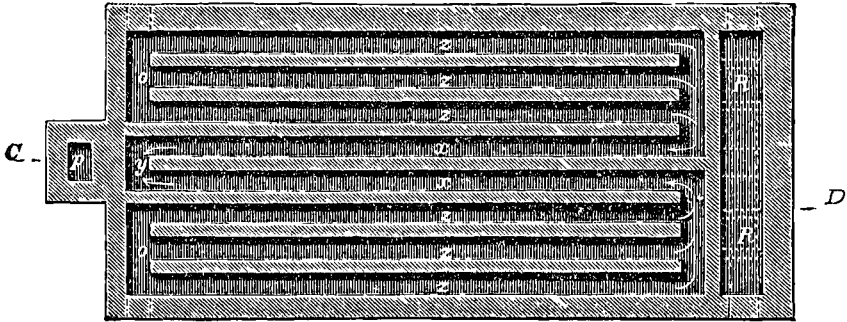


Fig. 435. — Four à moufle pour le grillage chlorurant des minerais de cuivre; coupe horizontale suivant AB (fig. 434).

$w$  est une ouverture pour charger dans le moufle les corps à griller (ordinairement un mélange de sulfures métalliques et de sel marin).

Les fours d'IIASENLEVER et de LIEBIG et EICHORN sont des fours pour le grillage oxydant de la blende ou du cuivre pyriteux et des mattes de cuivre.

Le four d'IIASENLEVER se compose de plusieurs moufles superposés, qui

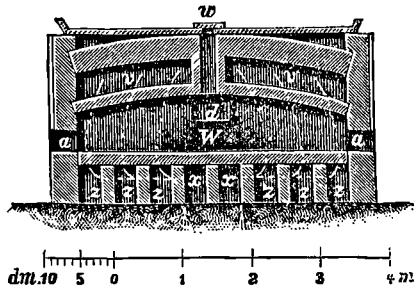


Fig. 436. — Four à moufle pour le grillage chlorurant des minerais de cuivre; coupe transversale suivant EF (fig. 434).

communiquent entre eux par des canaux verticaux et sont chauffés par la flamme d'un foyer à grille. Les corps à griller sont introduits, au moyen d'une trémie, dans le moufle supérieur et, comme dans les fours à pelletage continu, la masse soumise au grillage est poussée de temps en temps en avant. Par un canal vertical, établi à l'extrémité de ce moufle, la masse est déversée dans un second moufle, qui se trouve au-dessous de lui et dans lequel elle est poussée de la même manière que dans le

premier, pour arriver finalement dans un troisième moufle. A l'extrémité de ce dernier, la masse grillée est retirée par une porte de travail. La flamme suit une direction inverse à celle de la marche du corps soumis au grillage et vient lécher successivement dans sa marche ascendante

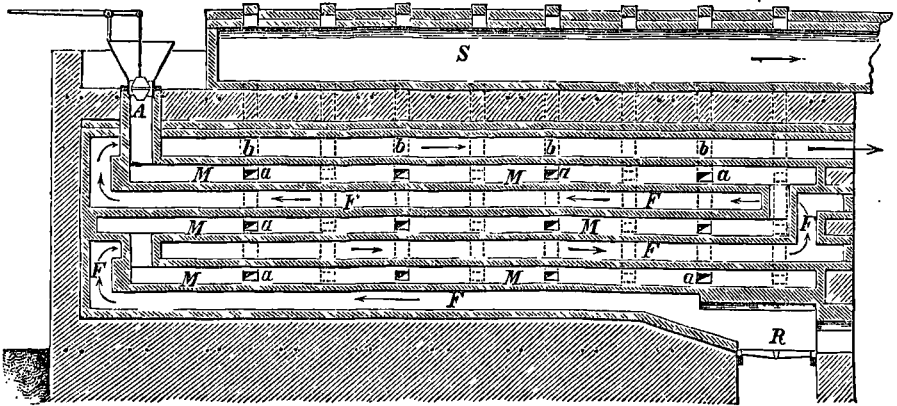


Fig. 437. — Four à moufles d'Hasenclever pour le grillage du cuivre pyriteux ou des mattes cuivreuses ou de la blende; coupe longitudinale.

la sole et le plafond des différents moufles. Les gaz résultant du grillage passent de ces derniers, par des ouvertures ménagées dans leurs parois postérieures, dans des canaux verticaux et de ceux-ci dans un canal col-

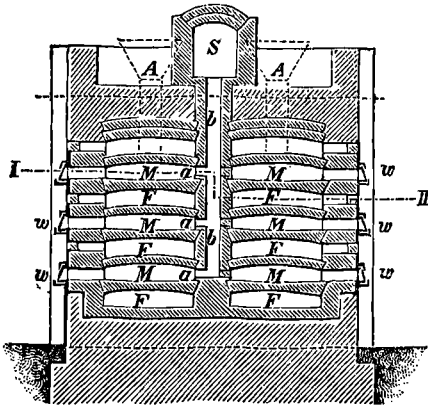


Fig. 438. — Four à moufles d'Hasenclever; coupe transversale de deux fours accolés.

lecteur, qui les conduit à la fabrique d'acide sulfurique. Dans ces derniers temps, on a aussi superposé directement deux moufles, de façon que la flamme du foyer vienne lécher la sole du moufle inférieur et le plafond du supérieur.

Les figures 437 et 438 montrent deux fours d'HASENCLEVER accolés.

R est la grille de l'un des foyers; M, M sont les différents moules, F, F les carneaux qui sont parcourus par la flamme dans la direction indiquée par les flèches. A, A sont les ouvertures pour le chargement des minerais; ceux-ci parcourent les différents moules de haut en bas;  $w$  sont les portes de travail. Les gaz produits par le grillage passent, par les ouvertures  $a$ ,

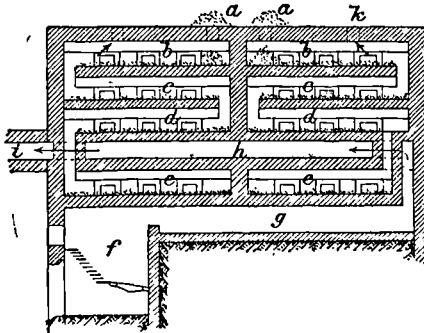


Fig. 439. — Four à moules d'Hasenclever modifié; coupe longitudinale.

dans les canaux verticaux  $b$  et de ces derniers dans le canal collecteur  $S$ , qui est en communication avec la fabrique d'acide sulfurique.

Dans les nouveaux fours d'HASENCLEVER pour le grillage de la blende, chaque moufle est partagé en deux compartiments au moyen d'une cloison verticale établie dans son milieu, de sorte que la blende a à parcourir un chemin moitié moins long. En outre, avec des minerais riches en soufre, on ne laisse chauffer par les gaz du foyer que les deux moules inférieurs, tandis que les deux supérieurs sont chauffés par la chaleur d'oxydation du soufre des sulfures. Un pareil four est représenté par les figures 439 et 440.  $f$  est le foyer avec grille à gradins; ses gaz chauffent les deux compartiments du moufle  $e$  et la sole des compartiments du moufle  $d$ , en traversant successivement les carneaux  $g$  et  $h$ , pour se rendre dans le canal  $i$  conduisant à la cheminée. Les minerais sont desséchés sur la couverture du four et ensuite déversés par les

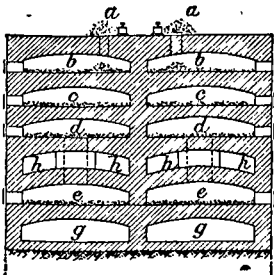


Fig. 440. — Four à moules d'Hasenclever modifié; coupe transversale.

ouvertures  $a, a$  dans les compartiments  $b, b$  du moufle supérieur. De là, ils passent dans les compartiments  $c, c, d, d$  et  $e, e$  et, le grillage terminé, ils sont retirés de ces derniers. Les gaz résultant du grillage traversent successivement de bas en haut les différents moules et, des compartiments du moufle supérieur, ils pénètrent par les ouvertures  $k$ , dans un canal collecteur.

Le four de LIEBIG et EICHORN est représenté par les figures 441 et 442. Il se compose d'un certain nombre de systèmes de moules juxtaposés, qui sont chauffés par un foyer commun. Chaque système est formé d'une

série de moufles *a* superposés et qui sont chauffés par les gaz du foyer circulant dans les carneaux *c*. Le minéral à griller (blende) est introduit par l'ouverture *k* dans le moufle supérieur de chaque système et au bout de quelque temps il est déversé, par le canal vertical *l*, dans le moufle qui

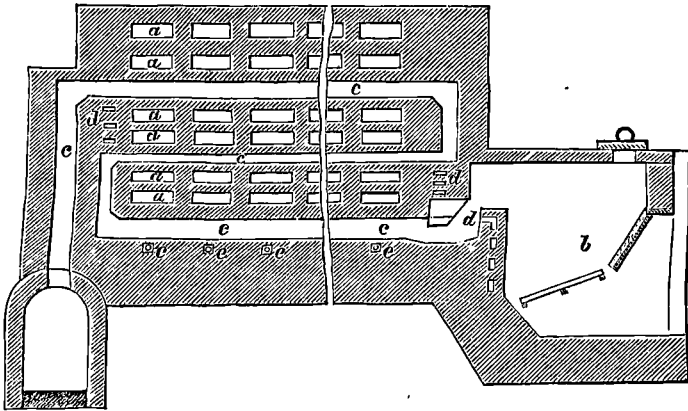


Fig. 441. — Four à moufles de Liebig et Eichhorn pour le grillage de la blende; coupe longitudinale.

se trouve au-dessous. De ce moufle, il passe au bout de quelque temps dans le moufle immédiatement inférieur et, ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il soit retiré à l'état grillé du moufle le plus bas, par le canal *g*. L'air

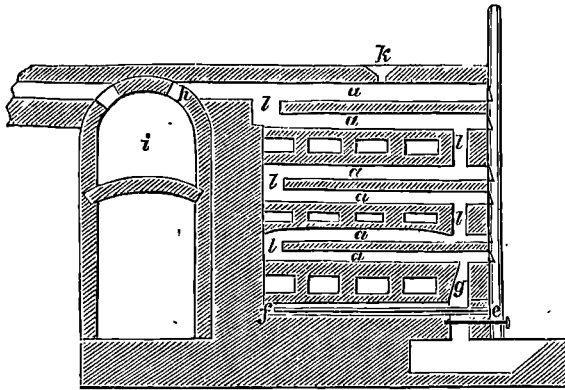


Fig. 442. — Four à moufles de Liebig et Eichhorn pour le grillage de la blende; coupe transversale.

nécessaire pour le grillage pénètre, après s'être réchauffé, dans le dernier moufle inférieur de chaque système. Le réchauffage est produit par la maçonnerie chaude du four, et, à cet effet, on fait passer l'air, par un tube *e*, dans le canal de sole *f* et de ce dernier, par le canal *g*, dans le moufle. Les gaz résultant du grillage traversent les différents moufles de bas en haut, et du moufle supérieur ils se rendent, par l'ou-

verture  $h$ , dans le canal à poussières  $i$  et de celui-ci dans la fabrique d'acide sulfurique.

On emploie comme combustible du gaz de gazogène. Ce gaz est produit dans le gazogène  $b$  et il se mélange en  $d$  avec l'air réchauffé dans des canaux ménagés dans la maçonnerie. La flamme passe dans les canaux  $c$ ,  $c$  et arrive finalement dans le canal conduisant à la cheminée. Pendant leur trajet autour des moufles, les gaz reçoivent encore de l'air à différentes hauteurs (en  $d$ ,  $d$ ). Dans ces derniers temps, ce four a encore été perfectionné par LIEBIG.

On a aussi employé pour le grillage de la blende des fours à moufles avec dispositifs de râblage mécanique et moufles cylindriques rotatifs.

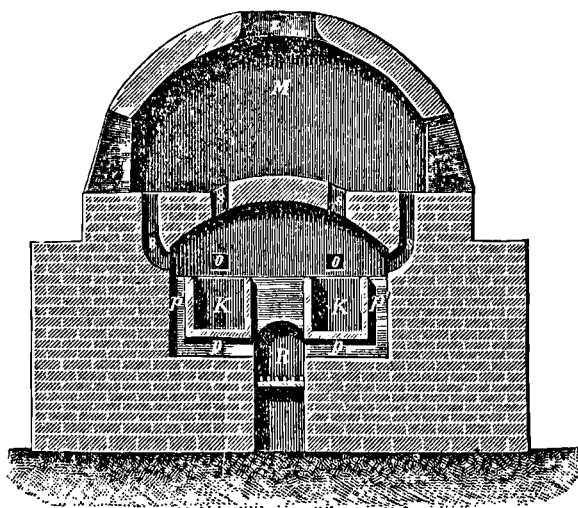


Fig. 443. — Four pour la préparation de l'acier cémenté ; coupe transversale.

Un four pour la préparation de l'acier cémenté est représenté par les figures 443 et 444. R est la grille, K, K sont les vases qui reçoivent les objets à chauffer (fer doux enveloppé de charbon) et qui ici sont des caisses en terre réfractaire ou en briques réfractaires. Ces caisses reposent sur une série de briques d'argile, entre lesquelles la flamme peut passer, et elles sont également soutenues par des briques semblables  $v$ ,  $v$ . La flamme monte partie dans l'espace entre les deux caisses, partie, par les canaux qui se trouvent sous la sole, entre les briques dont il vient d'être question, dans les canaux latéraux  $p$ , et elle arrive par les ouvertures  $s$ ,  $s$  du laboratoire, dans la voûte M et de celle-ci par  $z$  dans la cheminée. Dans la voûte M, on fait cuire des briques réfractaires.  $o$ ,  $o$  sont des ouvertures pour retirer des caisses des barres d'épreuve. G est l'ouverture de chauffe.

Les oxydes de nickel et de cobalt sont réduits dans des creusets, des tubes ou des moufles.

La disposition d'un four pour la réduction du protoxyde de nickel en



nickel spongieux est mise en évidence par la figure 445; ce four est à un seul moufle. Ce moufle est ouvert à ses deux extrémités, et pendant le travail, celles-ci sont fermées au moyen de portes *k k*, munies de contre-

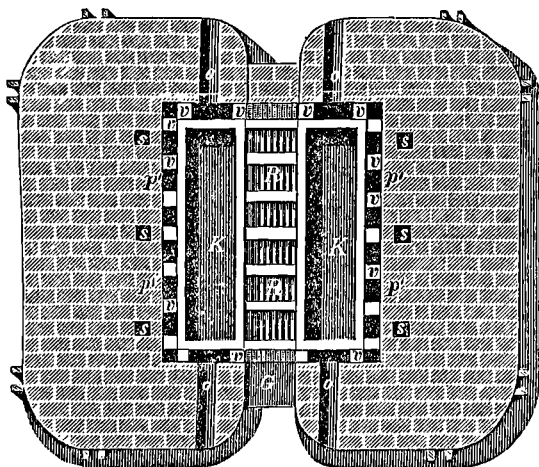


Fig. 444. — Four pour la préparation de l'acier cémenté; coupe horizontale.

pois et pourvues d'un revêtement réfractaire. Le four est chauffé au moyen de gaz de gazogènes, dont la flamme passe par les carneaux *l, l* et

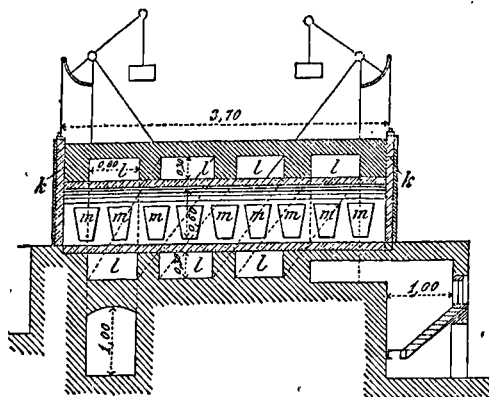


Fig. 445. — Four à moufle avec chauffage au gaz pour la réduction du protoxyde de nickel en nickel spongieux.

vient entourer le moufle. Le protoxyde de nickel est placé avec l'agent réducteur dans les caisses *m, m*. Celles-ci sont placées dans le moufle du côté opposé au gazogène et sont poussées peu à peu vers ce dernier, pour être retirées finalement à l'autre extrémité.

## Fours à vases pour fusions.

Ces fours trouvent surtout emploi pour la fusion de métaux et d'alliages, pour l'épuration (le raffinage) de métaux, pour la préparation et la décomposition d'alliages, pour la séparation par liquation de métaux et de combinaisons métalliques, de minéraux, de roches et de produits métallurgiques. Les vases possèdent les formes les plus différentes. Ce sont fréquemment des creusets, des tubes, des mouffles ou des chaudières.

Les fours dont les vases sont des *creusets* sont employés pour la refonte du fer brut (en vue de la préparation de fonte malléable), pour la préparation de l'acier au creuset, pour la préparation du smalt, pour la

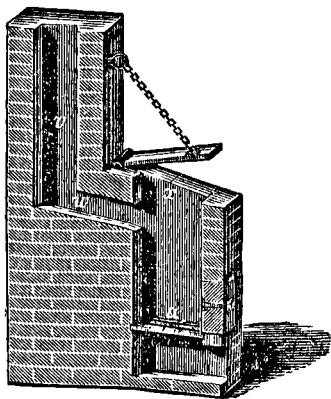


Fig. 446.

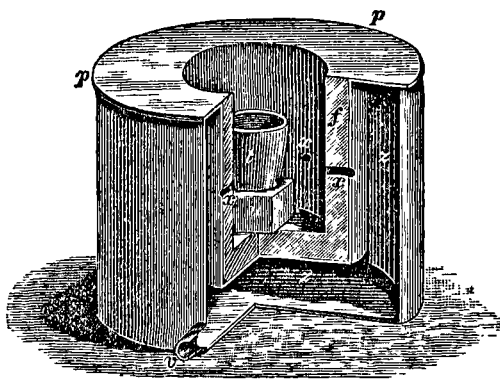


Fig. 447.

Fig. 446. — Four à vent (four à creuset).

Fig. 447. — Four à creuset de Sefström.

refonte de l'or et de l'argent, pour le raffinage de l'argent, pour la séparation de l'or d'avec l'argent à l'aide du chlore, pour l'extraction de l'antimoine de l'antimoine sulfuré d'après la méthode par précipitation, pour le raffinage de l'antimoine, pour l'extraction par liquation du bismuth et de l'antimoine sulfuré de minéraux et de roches.

Un four à creuset fréquemment employé est le *fourneau à vent*, dont la disposition est représentée par la figure 446. Les creusets à chauffer sont placés sur un support (fromage), qui de son côté repose sur la grille *a* et ils sont ensuite entourés de charbon. L'introduction du creuset dans le fourneau et son extraction de ce dernier, lorsque le chauffage est achevé, ont lieu par l'ouverture *x*, qui se trouve à l'extrémité supérieure de la cuve et peut être fermée par une porte à chute. L'air de combustion (introduit par tirage naturel ou au moyen d'une soufflerie) pénètre sous la grille. Les gaz brûlés passent par le canal *w* dans la cheminée *v*.

Lorsqu'on se sert de petits creusets, on emploie fréquemment pour la production de hautes températures le *fourneau de SEFSTRÖM*, qui est représenté par la figure 447.

Un cylindre vertical en tôle est placé dans un autre cylindre de même matière, de façon qu'entre les parois et les fonds des deux cylindres il reste un espace libre  $z$ .

A leur extrémité supérieure, les deux cylindres sont reliés ensemble

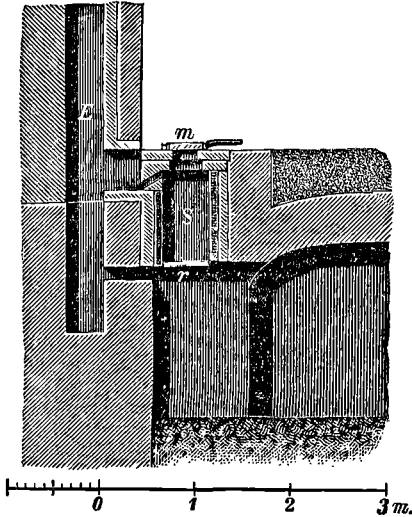


Fig. 448. — Four à creusets pour la préparation de l'acier fondu.

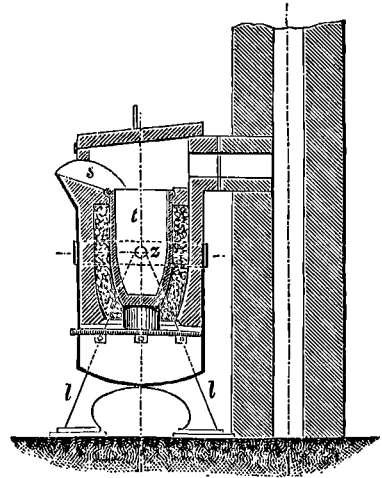


Fig. 449. — Four à creuset mobile de Piat pour la refonte du fer brut; coupe verticale.

au moyen d'une plaque annulaire  $p$ . Le cylindre intérieur est muni sur son côté interne d'un revêtement réfractaire  $f$  et il possède à un niveau déterminé une série d'ouvertures radiales  $x$  pour l'introduction du vent.

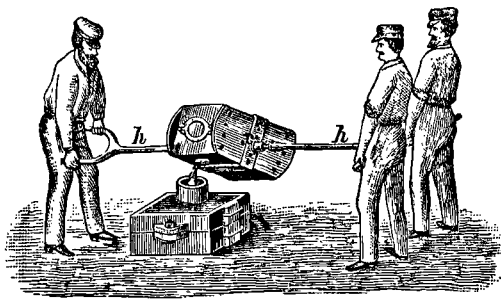


Fig. 450. — Four à creuset mobile de Piat, au moment de la coulée.

Le cylindre extérieur est muni près de son fond d'une ouverture  $v$ , par laquelle le vent soufflé pénètre dans l'espace creux  $z$  et de celui-ci, par les ouvertures  $x$ , dans l'espace contenant le creuset  $t$ , entouré de combustible carbonisé et placé sur un support  $u$  en terre réfractaire.

Un four à creusets pour la préparation de l'acier fondu, avec chauffage

au coke, est représenté par la figure 448. *r* est la grille, *S* la chauffe, qui a une section horizontale carrée; *E* est la cheminée. Après l'enlèvement du couvercle *m*, les creusets sont placés dans la cuve ou en sont retirés.

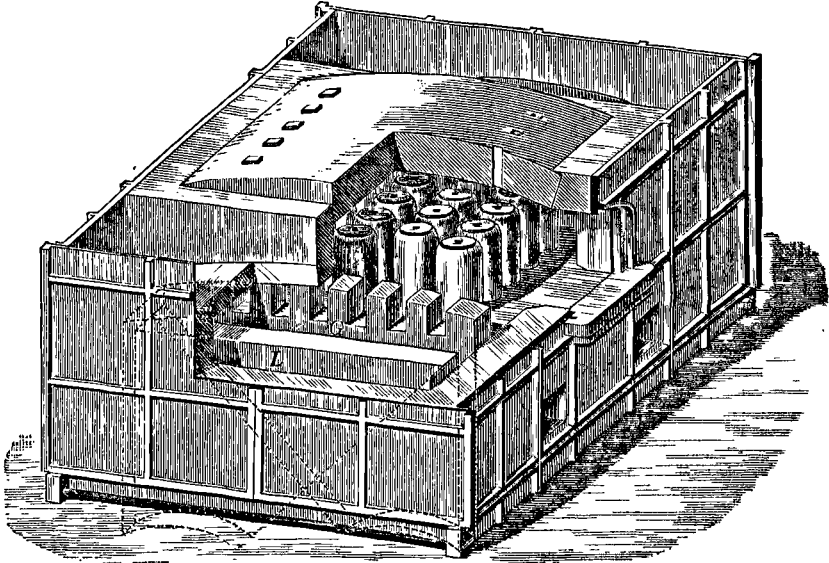


Fig. 451. — Four à creusets avec chauffage au gaz de gazogène pour la préparation de l'acier fondu.

Les figures 449 et 450 représentent un *four à creuset mobile*, qui permet de vider le creuset sans le retirer du four; ce four, imaginé par PIAT, est

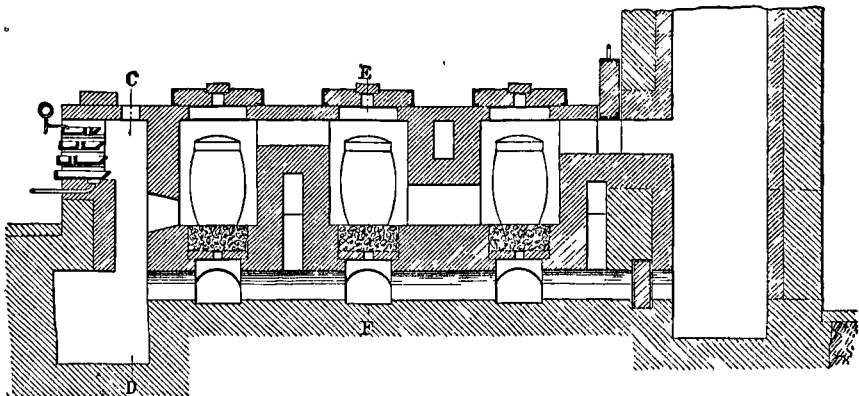


Fig. 452. — Four à creusets pour la préparation de l'acier fondu avec chauffage au naphte; coupes longitudinale et verticale suivant AB (fig. 453).

employé pour la refonte du fer brut. Il est entouré d'un manteau en tôle, auquel sont fixés deux tourillons *z*. Le four est suspendu par ces tourillons sur les coussinets des chevalets en fonte *l, l*.

Lorsqu'on veut vider le creuset *t* fixé dans le four, on saisit les tourillons à l'aide des manches *h* (fig. 450) et on incline le four de façon que le contenu du creuset s'écoule par le bec *s*. Les grands fours de cette espèce sont manœuvrés au moyen de grues.

Un four pour la préparation de l'acier fondu, chauffé au gaz de gazole

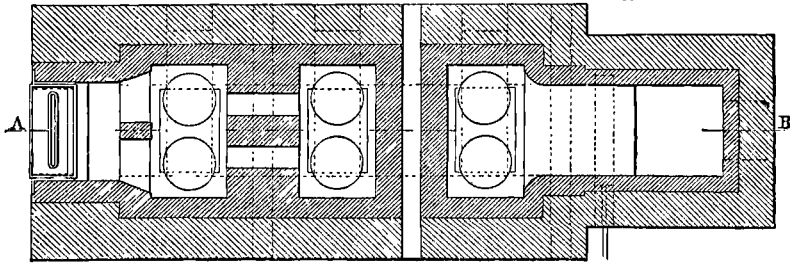


Fig. 453. — Four à creusets pour la préparation de l'acier fondu avec chauffage au naphthe; coupe horizontale.

gène est représenté, par la figure 451. Il est muni de régénérateurs de SIEMENS (comme ceux qui sont représentés par les figures 157 à 160). G et L sont les fentes par lesquelles arrivent le gaz et l'air. De l'espace où le

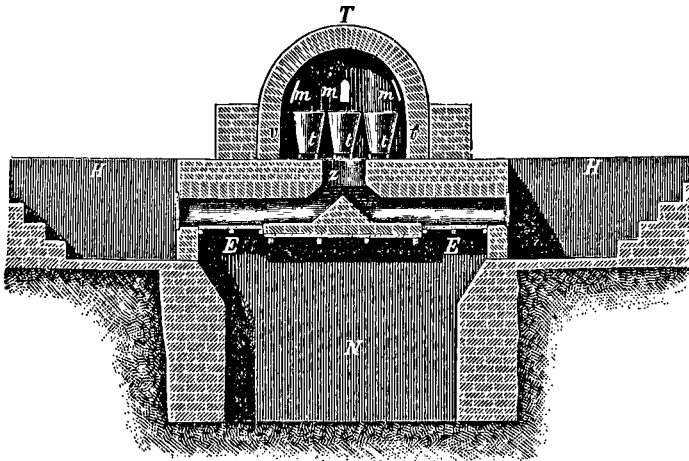


Fig. 451. — Four à creusets pour la préparation du smalt; coupe verticale.

gaz et l'air se mélangent, la flamme passe, par les ouvertures visibles dans la figure, dans le laboratoire. La voûte de ce dernier est munie d'ouvertures permettant de prélever des échantillons du contenu des creusets.

Un four à acier fondu, chauffé avec un combustible liquide (naphthe) est représenté par les figures 452 et 453<sup>1</sup>. Le four contient six creusets,

<sup>1</sup> DÜRRE, *Vorlesungen über allgem. Hüttenkunde*, p. 324.

qui sont enveloppés par les flammes l'un après l'autre. Celles-ci pénètrent dans la partie inférieure du premier compartiment du four et en sortent par sa partie supérieure, pour traverser de haut en bas le deuxième compartiment et de bas en haut le troisième. De la partie supérieure du troi-

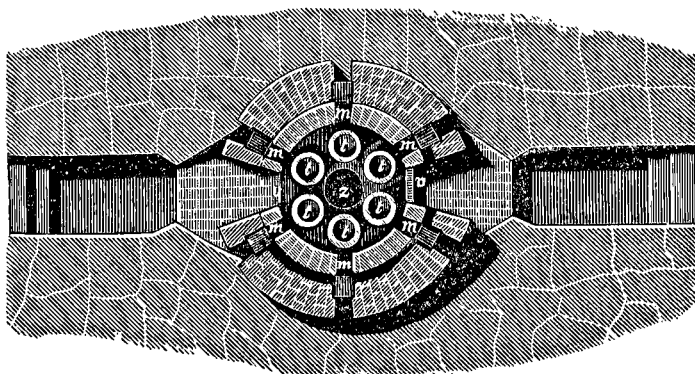


Fig. 455. — Four à creusets pour la préparation du smalt; coupe horizontale.

sième compartiment, la flamme passe dans la cheminée. Le naphte coule par une conduite et plusieurs tubes alimentateurs dans une série d'auges, qui sont disposées les unes au-dessus des autres dans une ouverture

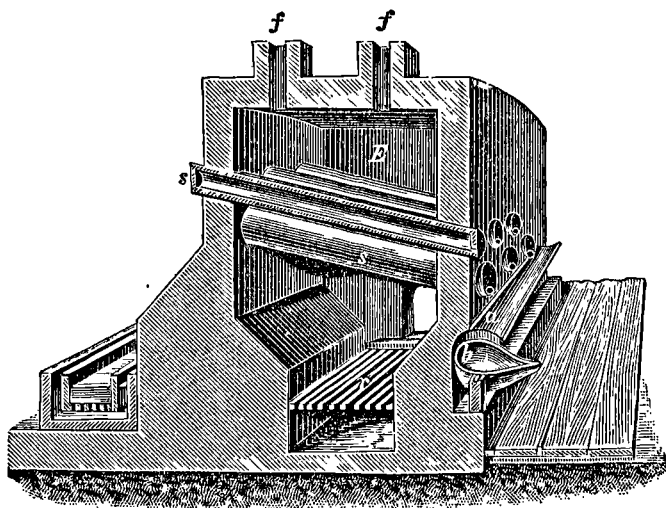


Fig. 436. — Four à tubes pour la liquation du bismuth.

ménagée du côté frontal du four. Le naphte débordant de l'auge supérieure coule dans l'auge plus large qui se trouve immédiatement au-dessous, et ainsi de suite jusqu'à la dernière auge. L'air de combustion pénètre entre les auges et entre celles-ci et les parois latérales de l'ouverture où elles sont placées, ainsi que par des canaux particuliers.

Les figures 454 et 455 représentent un *four pour la préparation du smalt* (verre coloré en bleu par du sesquioxyde de cobalt). Sur la sole du laboratoire T en forme de dôme, un certain nombre de creusets *t, t* sont placés sur des briques autour de l'ouverture *z*, par laquelle monte la flamme du combustible brûlant sur les deux grilles E, E. La flamme, après avoir enveloppé les creusets, sort du laboratoire par les ouvertures *m, m*, qui sont en même temps les ouvertures de travail. Les creusets sont introduits dans le laboratoire ou retirés de celui-ci par les ouvertures *v, v*, qui pendant le travail sont fermées par une maçonnerie. N est le cendrier, H le sol de l'usine.

Les fours avec tubes comme vases trouvent emploi pour la séparation par liquation du bismuth et de l'antimoine sulfuré de minéraux et de

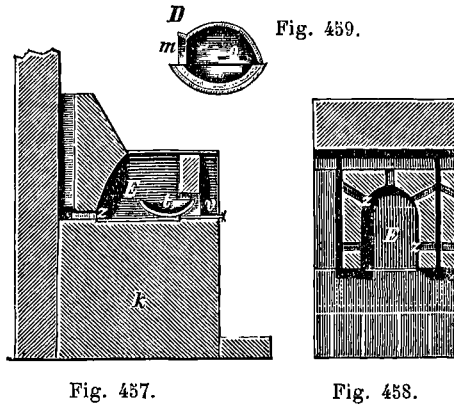


Fig. 457.

Fig. 458.

Fig. 457. — Four à moufle pour le raffinage de l'argent ; coupe verticale.

Fig. 458. — Four à moufle pour le raffinage de l'argent ; coupe horizontale.

Fig. 459. — Moufle pour le raffinage de l'argent.

roches. Suivant le nombre des tubes placés les uns à côté des autres, le laboratoire de ces fours peut avoir la forme d'une cuve ou une forme allongée.

Un ancien *four à tubes pour la liquation du bismuth*, tel qu'il a été indiqué par PLATTNER, est représenté par la figure 456. *s* est la grille, E le laboratoire; *f, f* sont les cheminées; *s, s* sont les tubes de liquation en fonte, placés dans une position inclinée. Ils sont chargés par le côté postérieur. Le bismuth ressué coule des tubes, par l'ouverture *o*, dans la gouttière inclinée *a* et de cette dernière dans le bassin mobile *b*. Si le laboratoire est de forme allongée, il y a deux gouttières inclinées vers le milieu du four. Les résidus de la liquation sont retirés par l'extrémité postérieure des tubes et ils tombent dans une caisse remplie d'eau.

Parmi les fours avec un moufle comme vase, nous mentionnerons le *four pour le raffinage de l'argent*. Il est représenté par les figures 457 à 459. E est le laboratoire. Le moufle se compose d'une capsule ou têt *t* et du couvercle mobile D. Le têt est en fer et pourvu d'un revêtement de marne ou de cendre d'os lessivée. Le couvercle est en argile réfractaire. Lorsque le moufle a été introduit dans le laboratoire, on ferme le côté

antérieur de ce dernier avec des briques, en ayant soin de laisser libre une ouverture de travail *v*. L'argent (argent d'éclair) à raffiner est introduit dans le moufle par l'ouverture *m*, par laquelle pénètre aussi l'air oxydant. Celui-ci sort par les ouvertures *o*. Le moufle est entouré de combustibles carbonisés. L'air nécessaire pour la combustion de ces derniers

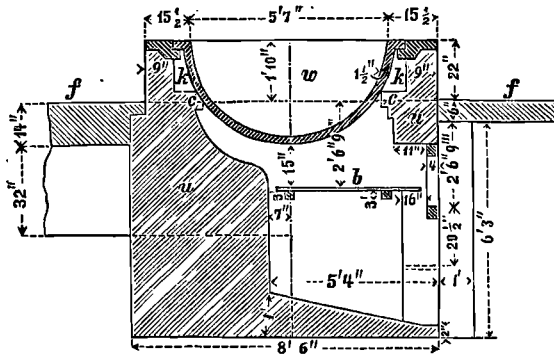


Fig. 460. — Four à chaudière pour la désargentation du plomb par le zinc, etc. ; coupe verticale.

pénètre par l'ouverture de travail *v* et par les fentes *z*, ménagées dans la maçonnerie du four.

Les fours avec chaudières comme vases trouvent emploi pour la désargentation du plomb par le zinc, pour l'enrichissement de l'argent dans le

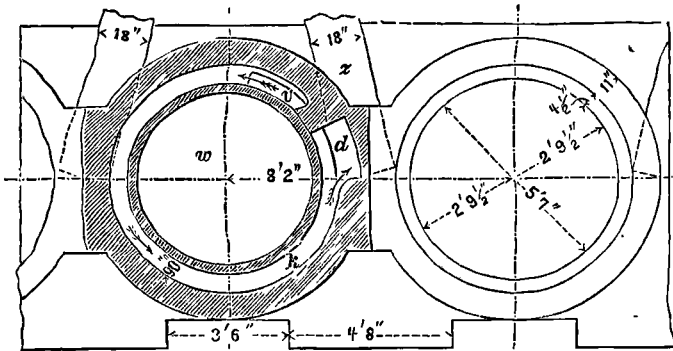


Fig. 461. — Four à chaudière pour la désargentation du plomb par le zinc, etc. ; coupe horizontale.

plomb par le procédé de PATTINSON, pour le ressuage du plomb d'alliages, pour l'imbibition du sulfate d'argent dans le plomb, pour le raffinage du plomb.

Les vases sont des chaudières en fonte ou en acier fondu.

Les figures 460 et 461 représentent la disposition d'un *four à chaudières*, qui est employé pour la *désargentation du plomb argentifère par le zinc*, pour l'*enrichissement de l'argent dans le plomb par le procédé de PATTIN-*





la chaudière, et, arrivée à l'extrémité de *k*, elle se rend par le carneau ascendant *d* dans le canal *z* conduisant à la cheminée.

La disposition d'un *four à chaudières pour le pattinsonage avec la vapeur d'eau* (procédé ROZAN) est mise en évidence par les figures 462, 463 et 464. A est la chaudière à cristallisation, établie dans une cuve en

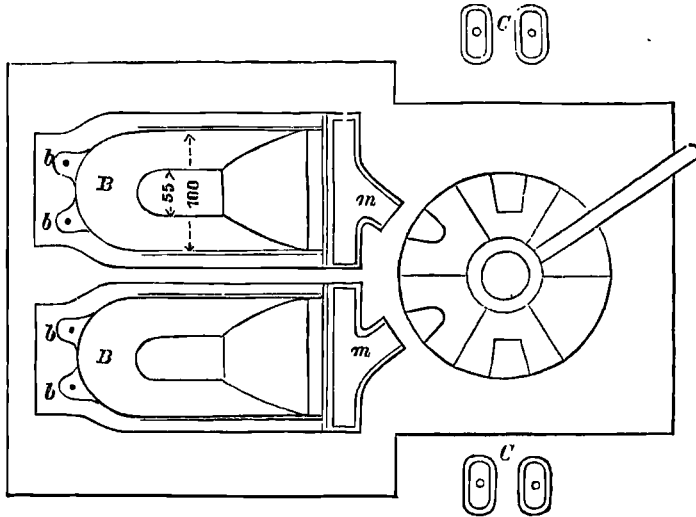


Fig. 464. — Four à chaudières pour le pattinsonage à la vapeur ; vue supérieure.

maçonnerie R, reposant sur les piliers *x*, *x* et le mur circulaire *y*. A un niveau plus élevé, se trouvent deux chaudières de fusion B, B, dans lesquelles est fondu le plomb à désargenter. De ces chaudières, le plomb fondu est écoulé dans la chaudière à désargentation ; à cet effet, les chaudières

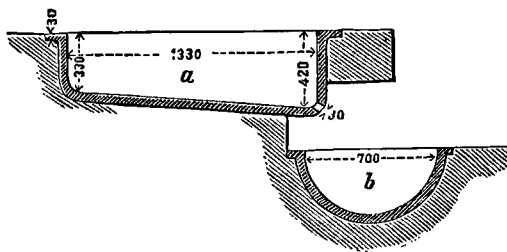


Fig. 465. — Chaudière de liquation pour la séparation du plomb des alliages plomb-zinc-argent ; coupe verticale.

B sont soulevées à l'aide d'une grue, de façon que le plomb se déverse par la gouttière *m* dans la chaudière A. *k* est le foyer à grille, dont les gaz chauffent d'abord le fond de la chaudière A et ensuite ses parois latérales jusqu'à la plaque annulaire *n*, puis ils se rendent dans le canal *o*. La partie de la chaudière qui se trouve au-dessus de la plaque *n* est chauffée par les gaz qui ont servi au chauffage des chaudières de fusion. Des

foyers à grille, *l, l*, ces gaz se rendent au-dessous des chaudières B, B et arrivent ensuite par le canal *w* à la chaudière de cristallisation, ils l'entou-

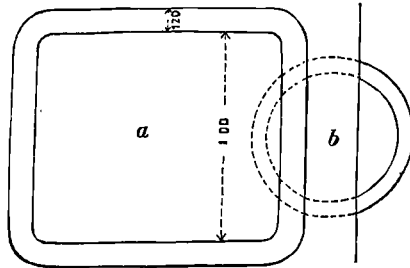


Fig. 466. — Chaudière de liquation; coupe horizontale.

rent au-dessus de la plaque *n* en parcourant le canal *z* et à l'extrémité de celui-ci ils pénètrent dans le canal *p*.

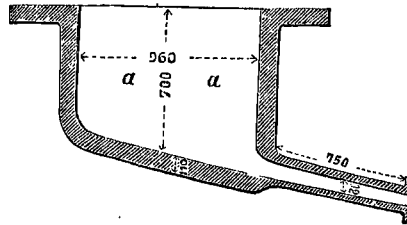


Fig. 467. — Chaudière de liquation avec tube d'écoulement pour le plomb ressué.

Par le tube *e*, de la vapeur d'eau sous pression est introduite dans la

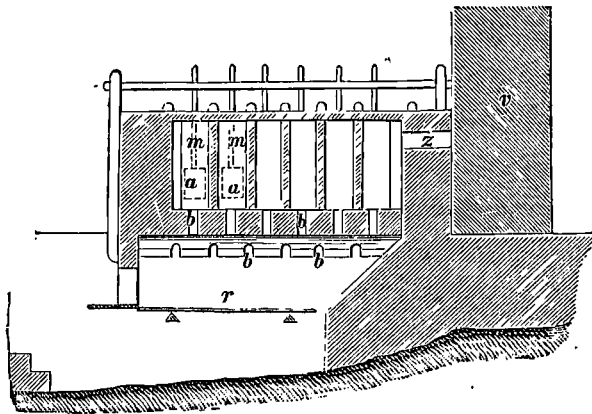


Fig. 468. — Four de Montefiore pour la séparation du zinc de la poussière de zinc; coupe longitudinale.

chaudière, vapeur qui se dégage au-dessous de la plaque *d*, qui la dissémine uniformément dans la masse liquide. *f* est un chapiteau en tôle, par

la tubulure  $z$  duquel s'échappe la vapeur d'eau refoulée dans la chaudière. Le plomb enrichi en argent (le liquide-mère) est évacué par les tubes  $h, h$ , munis des registres (plaques glissant à frottement).

Les figures 465 à 467 représentent deux *chaudières* qui servent pour la séparation par liqutation du plomb des alliages plomb-zinc-argent (écume de zinc). Le fond de ces chaudières est muni d'ouvertures (fig. 465) ou de tubes (fig. 467) pour l'écoulement du plomb ressué. De la chaudière de liqutation  $a$ , ce dernier tombe dans un bassin de coulée  $b$ , placé au-dessous de  $a$ .

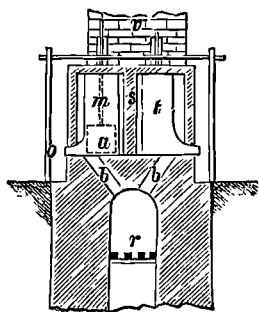


Fig. 469. — Four de Montefiore; coupe transversale.

La disposition d'un *four* particulier indiqué par MONTEFIORE pour séparer par fusion le zinc du mélange d'oxyde de zinc et de zinc, que l'on obtient comme produit secondaire de l'extraction du zinc, est mise en évidence par les figures 468 et 469. Dans le laboratoire partagé en deux moitiés par la cloison  $s$ , sont disposés un certain nombre de vases d'argile  $t$  en forme de bottes et munis en  $o$  d'ouvertures pour l'écoulement du zinc. Dans chacun de ces vases se trouve un piston mobile en argile  $a$ , fixé à une tige  $m$ . Sous l'influence de la pression que le piston exerce sur la poussière de zinc chargée dans les bottes et chauffée, le zinc liquide se sépare et s'écoule par les ouvertures  $o$ , qui se trouvent à la pointe des bottes.  $r$  est le foyer à grille, duquel la flamme passe par les ouvertures  $b$ , dans le laboratoire et ensuite, par le canal  $z$ , dans la cheminée  $v$ , après avoir enveloppé les vases  $t$ .

#### Fours à vases pour les vaporisations.

On emploie les fours de cette espèce pour la décomposition des alliages plomb-zinc-argent et des amalgames, pour l'épuration de l'acide arsénieux, pour l'extraction du zinc, du cadmium, du mercure, de l'arsenic, de l'acide arsénieux et du sulfure d'arsenic. Les vases sont des creusets, des cloches, des cornues, des tubes, des moules et des chaudières.

La *décomposition des alliages plomb-zinc-argent* est effectuée par distillation du zinc qu'ils renferment. Un four destiné à cet usage et contenant comme vase un creuset est représenté par la figure 470.  $t$  est un creuset en graphite avec chapiteau mobile  $v$ , dans lequel est placé l'alliage.  $E$  est le laboratoire,  $x$  la grille. Du creuset, les vapeurs de zinc sont conduites par le tube en terre  $m$  dans un récipient  $P$  en fonte, où elles se liquéfient. Le creuset est placé sur le support  $z$  et peut, après enlèvement de la couverture  $D$ , être retiré du laboratoire. Comme combustible, on emploie du coke, que l'on accumule sur la grille autour du creuset. Les gaz de combustion passent par le canal  $u$  dans une cheminée.

Un *four mobile*, dit *four basculant*, employé dans le même but et contenant comme vase une *cornue* en forme de bouticille, est représenté par les figures 471 et 472. Il est suspendu sur des tourillons et peut être tourné de façon que le contenu liquide du vase distillatoire puisse être vidé,

sans que l'on soit obligé de retirer ce dernier du four. Le vase distillatoire A en graphite est entouré de coke qui repose sur la grille *r*. Les

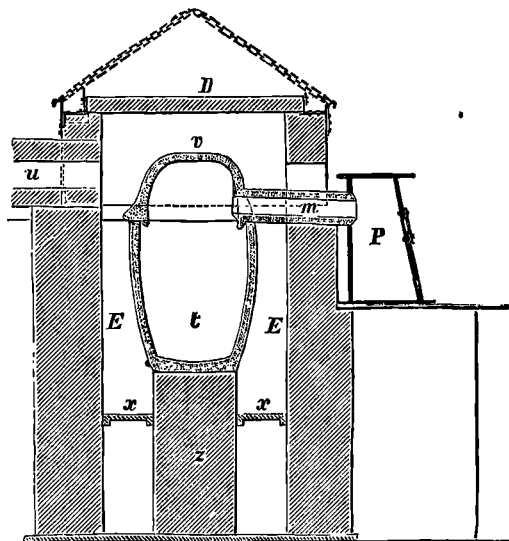


Fig. 470. — Four à creuset pour la décomposition par distillation des alliages plomb-zinc-argent.

gaz de combustion passent par le canal *c* dans la cheminée. Le coke est chargé dans le four par l'ouverture *b*.

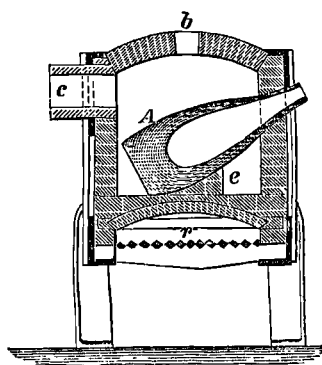


Fig. 471. — Four basculant avec cornue pour la décomposition par distillation des alliages plomb-zinc-argent; coupe transversale.

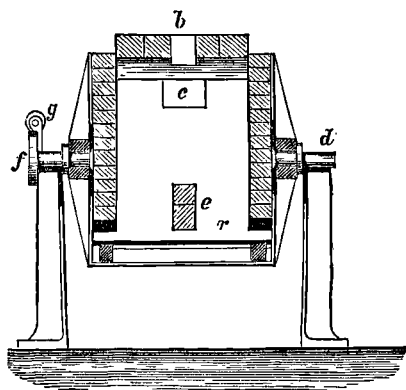


Fig. 472. — Four basculant avec cornue; coupe longitudinale.

La disposition d'un *four chauffé par le gaz*, dont les vases sont des tubes, est mise en évidence par les figures 473, 474 et 475. H est le gazo-

gène, R le laboratoire. L'air de combustion entre par  $y$ , traverse les canaux  $k, k$  et arrive réchauffé par la fente  $v$  dans l'espace  $w$ , où il se mélange avec le gaz ;  $x, x$  sont les vases distillatoires faits en graphite et argile réfractaire ;  $u$  sont les récipients pour recueillir le zinc. Le plomb

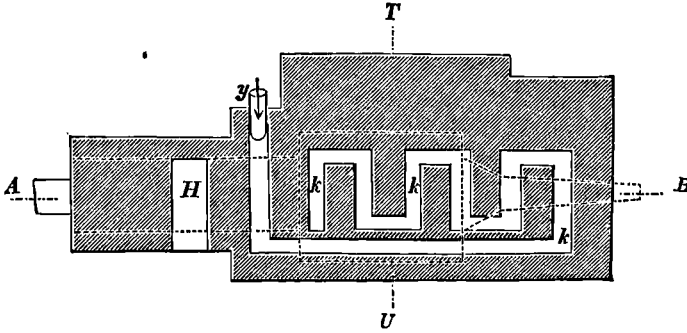


Fig. 473. — Four à tubes avec chauffage au gaz pour la distillation des alliages plomb-zinc-argent ; coupe horizontale suivant QS (fig. 474).

liquide, résidu de la distillation, est percé en  $p$ . Les gaz de combustion se rendent par le canal  $n$  dans la cheminée J.

Les fours pour la décomposition des amalgames d'or et des amalgames d'argent contiennent comme vases des cloches, des cornues, des tubes verticaux et horizontaux. Ces vases sont en fonte ou en bronze.

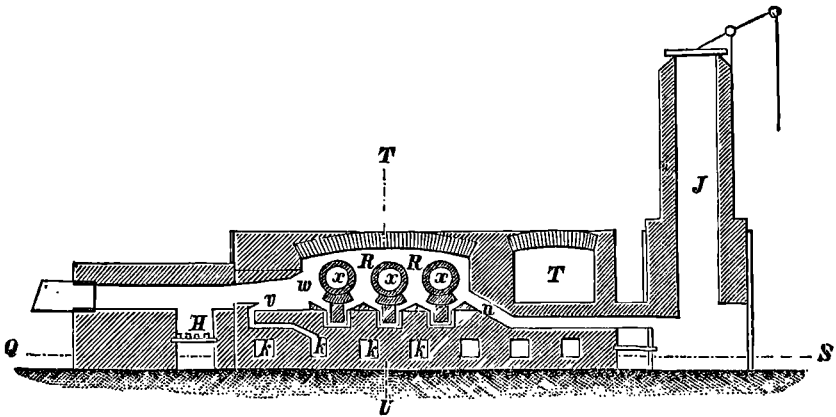


Fig. 474. — Four à tubes avec chauffage au gaz ; coupe verticale suivant AB (fig. 473).

La disposition du four à cloches est représentée par les figures 476 et 477.

Dans la figure 476, la cloche  $a$  ouverte inférieurement est placée dans la cuve  $b$ . Au-dessous de la cloche se trouve un vase  $d$  rempli d'eau, qui contient un deuxième vase plus petit  $e$ . Sur le fond de ce dernier est placée une tige  $s$ , munie du pied  $f$  et sur laquelle sont fixées les capsules  $t$ , destinées à recevoir l'amalgame. L'espace  $r$  entre la cloche et les parois laté-

rales de la cuve est rempli de charbon de bois. Le mercure expulsé de

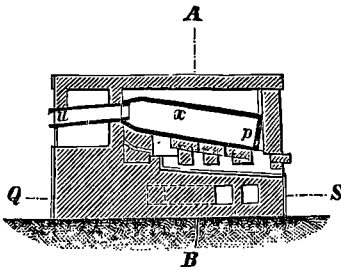


Fig. 475.

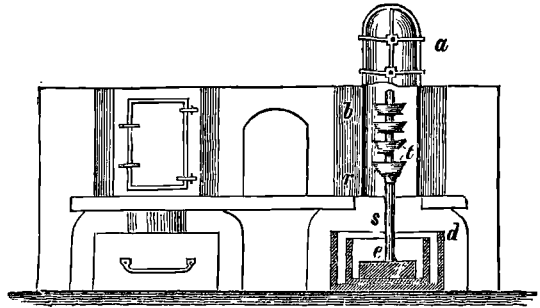


Fig. 476.

Fig. 475. — Four à tubes avec chauffage au gaz ; coupe verticale suivant TU (fig. 474).

Fig. 476. — Four à cloche pour la décomposition des amalgames d'argent et d'or.

l'amalgame par le chauffage de la cloche se rassemble dans le vase rem-

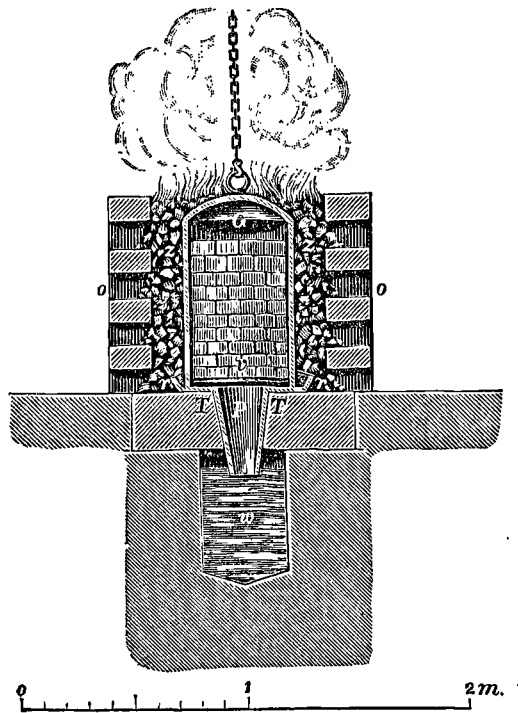


Fig. 477. — Autre disposition du four à cloche pour la décomposition des amalgames d'argent et d'or.

pli d'eau, tandis que le métal précieux (argent ou or) reste dans les capsules.

Dans la figure 477, *G* est la cloche suspendue à une chaîne. Elle est placée sur une cuvette en cuivre *T*, avec bord relevé *v*. A la cuvette est fixé un tube *P*, qui plonge dans le vase *w* rempli d'eau. A la partie inférieure de la cloche, est adaptée une grille *v*, sur laquelle repose l'amalgame

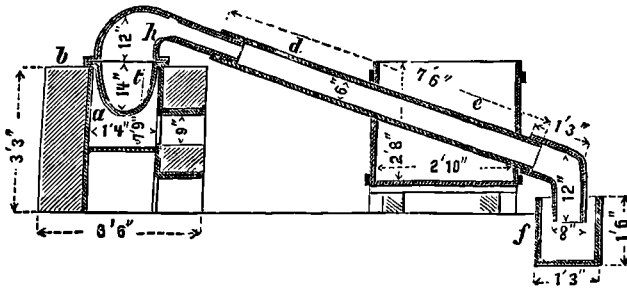


Fig. 478. — Four à cornue pour la décomposition des amalgames d'argent et d'or.

à décomposer. L'espace *z* entre la cloche et les parois latérales de la cuve est rempli de charbon de bois. L'air nécessaire pour la combustion de ce dernier pénètre dans la cuve par les ouvertures *o*. De la cloche, les vapeurs de mercure se rendent par le tube *P* dans le vase *w*, où elles se liquéfient.

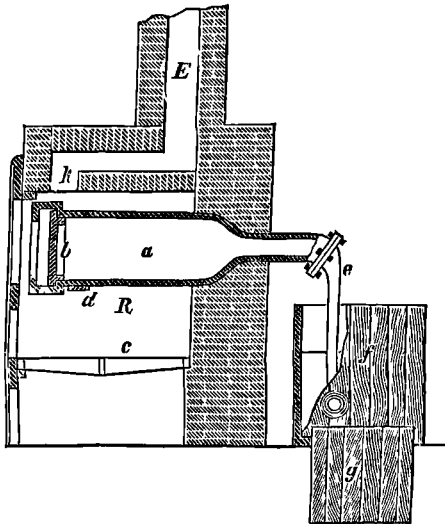


Fig. 479. — Four à tubes horizontaux pour la décomposition des amalgames d'argent et d'or.

Un four à cornues est représenté par la figure 478. *a* est le laboratoire, *b* la cornue en fonte pour recevoir l'amalgame ; *e* est un vase réfrigérant, *f* un vase rempli d'eau pour recueillir le mercure. La cornue se compose de deux parties, de la panse *t* et du chapiteau mobile *h*.

Un four à tubes horizontaux est représenté par la figure 479. *R* est le



foyer, *c* la grille, *a* le vase en fonte pour recevoir l'amalgame ; *e* est un tube réfrigérant, *f* une caisse de réfrigération, *g* un vase pour recueillir les vapeurs de mercure liquéfiées. Le vase *a* est fermé par la plaque de fer *b*. Les gaz du foyer passent du laboratoire, par le canal *k*, dans la cheminée *E*.

Un four dont le vase est un tube vertical est représenté par la figure 480. *R* est le laboratoire à section horizontale circulaire ; *a* est le vase ouvert inférieurement reposant sur la grille *b*. L'amalgame est placé sur les capsules en tôle *t*, qui sont fixées sur la tige *m*. Un couvercle en forme de

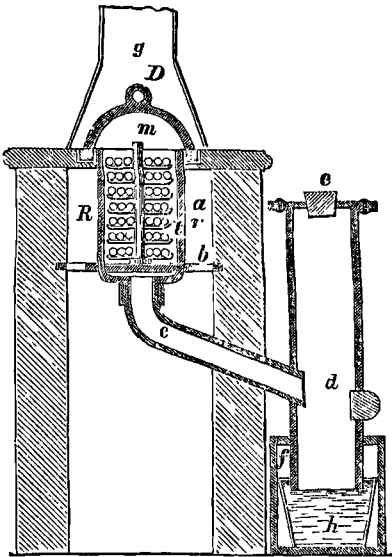


Fig. 480. — Four à tube vertical pour la décomposition des amalgames d'argent et d'or.

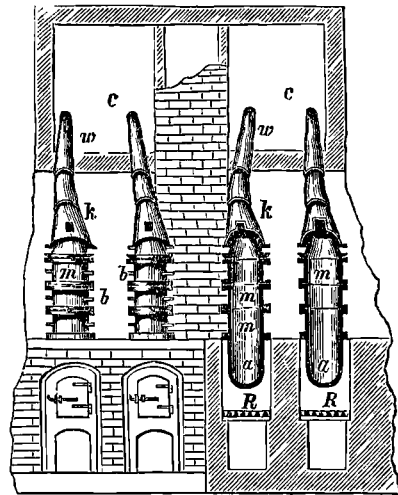


Fig. 481. — Four à chaudières pour l'épuration de l'acide arsénieux par sublimation.

cloche ferme l'extrémité supérieure du tube. Le combustible (charbon de bois) est accumulé dans l'espace *r* entre les parois latérales du four et le vase. Les gaz de combustion s'échappent par la cheminée *g*. Les vapeurs de mercure se rendent par le tube *c* dans le vase *d*, qui plonge dans le vase *h* rempli d'eau, et elles se rassemblent à l'état liquide sur le fond de ce dernier.

Pour l'épuration de l'acide arsénieux par sublimation, on emploie des fours contenant comme vases des chaudières. Un pareil four est représenté par la figure 481. *R* est le laboratoire, *a* la chaudière de sublimation en fonte qui y est suspendue. Sur cette chaudière sont placés des tubes en tôle *m*, munis de poignées *b*. Les tubes se terminent dans un chapeau en plomb *k*, qui est mis en communication, au moyen du tube en tôle *w*, avec les chambres à poussières *c*. La plus grande partie de l'acide arsénieux volatilisé par la chaleur se dépose sous la forme d'un sublimé dans les tubes en tôle, tandis que le reste est précipité dans les chambres à poussières.

Les fours pour l'extraction du zinc possèdent comme vases des tubes

en terre réfractaire à section circulaire ou elliptique, ou des mouffles de forme prismatique ou des caisses voûtées. On employait aussi autrefois des creusets. Pour le chauffage, on se sert aussi bien de combustibles solides que de combustibles gazeux.

Un four à tubes de section circulaire et chauffé avec des combustibles solides est représenté par les figures 482 et 483. *a* est la grille, *c, c* sont les vases distillatoires tubuliformes ; ils reposent par leur extrémité postérieure sur les consoles *d* de la maçonnerie, par leur extrémité antérieure sur les plaques de terre cuite *e, e*, auxquelles se relie les plaques de fer *k, k*. Le zinc qui est mis en liberté à l'état de vapeurs passe des vases *c* dans les récipients en argile *i*, où il se condense. Sur les récipients *i* sont adaptées les allonges en tôle *g*. Dans ces dernières sont retenues les vapeurs de zinc et l'oxyde de zinc entraînés par les gaz. Du laboratoire les gaz du foyer se rendent par l'ouverture *l* dans la cheminée. La fosse *m* sert pour recevoir les résidus retirés des vases distillatoires.

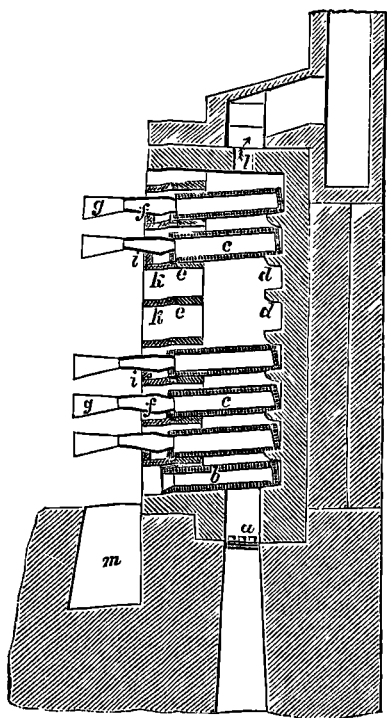


Fig. 482. — Four à tubes pour l'extraction du zinc ; coupe verticale d'avant en arrière.

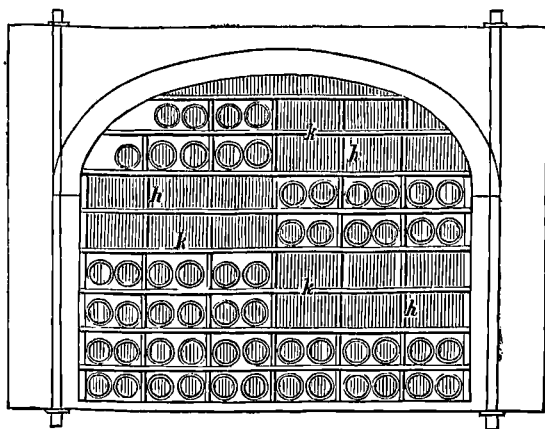


Fig. 483. — Four à tubes pour l'extraction du zinc ; coupe verticale et transversale.

La figure 484 représente un four de la même espèce avec *chauffage*

*Siemens et régénérateurs.* R, R sont les deux laboratoires séparés par la cloison *m* ; *r*, *r* sont les tubes ; W, W sont les régénérateurs. Le gaz et

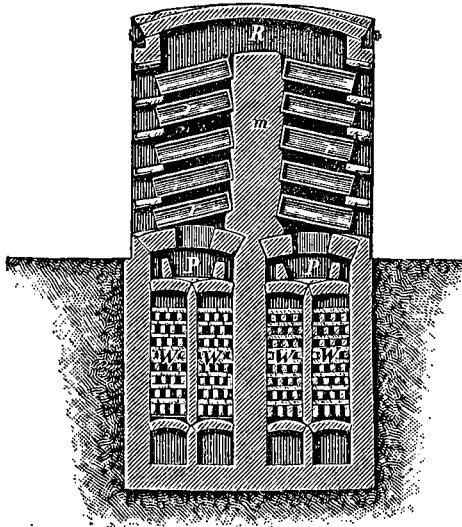


Fig. 484. — Four à tubes double avec chauffage Siemens pour l'extraction du zinc.

l'air se mélangent dans les espaces P, P. Les gaz en combustion mon-

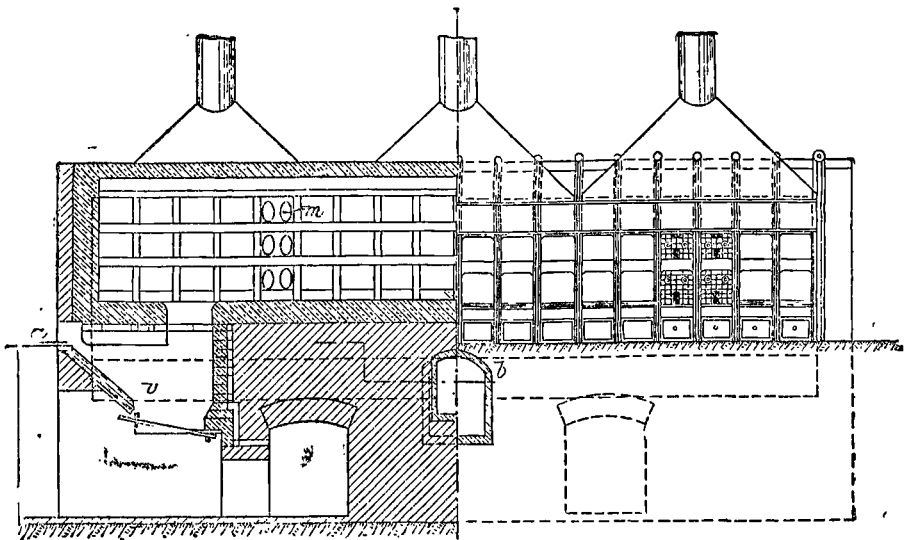


Fig. 485 et 486. — Four à tubes elliptiques avec chauffage au gaz pour l'extraction du zinc ; coupe longitudinale suivant *cd* (fig. 488) et vue de face.

tent dans l'un des laboratoires, puis descendent dans l'autre laboratoire et, après avoir traversé le régénérateur qui se trouve au-dessous de ce

dernier, ils se rendent dans la cheminée. Au bout d'un certain temps, la direction des gaz est renversée, de façon qu'ils montent dans le deuxième laboratoire et descendent dans le premier, afin de se rendre dans la cheminée, en traversant la deuxième paire de régénérateurs.

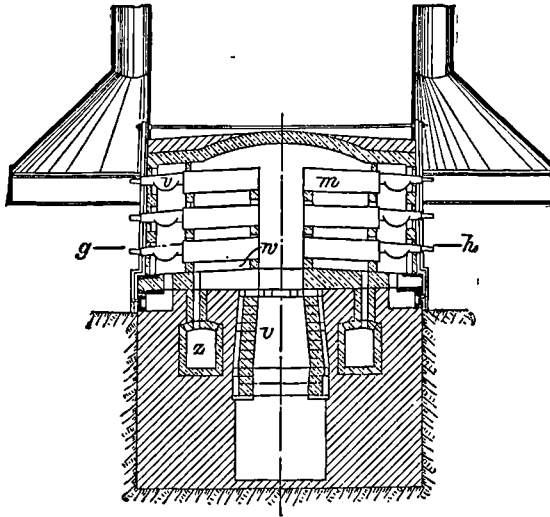


Fig. 487. — Four à tubes elliptiques avec chauffage au gaz pour l'extraction du zinc ; coupe transversale *ef* (fig. 489).

Un four avec chauffage au gaz, dont la section des tubes est elliptique, est représenté par les figures 485 à 489.

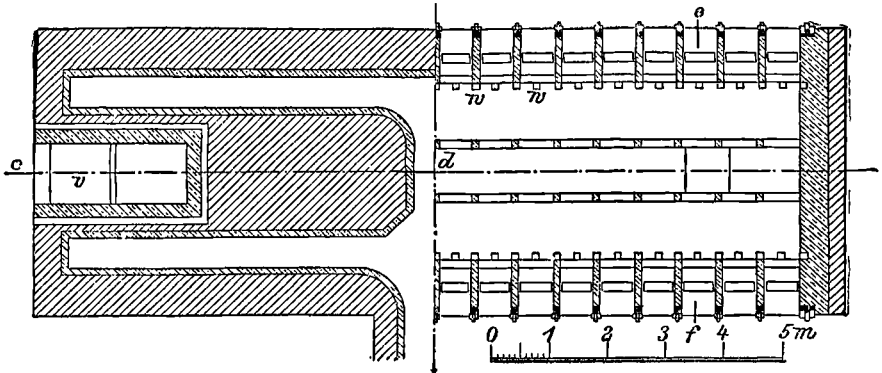


Fig. 488 et 489. — Four à tubes elliptiques avec chauffage au gaz pour l'extraction du zinc ; plans au niveau de *ab* (fig. 485) et de *gh* (fig. 487).

Les tubes *m* sont disposés en trois étages superposés. Devant eux se trouvent les récipients pour recueillir le zinc. Le four contient en tout 216 tubes. Aux deux extrémités du four se trouve un gazogène *v*. L'air de combustion est réchauffé dans la maçonnerie du four. Les gaz brûlés, après

avoir enveloppé les tubes, passent, par des carneaux verticaux, dans les canaux collecteurs *z*, qui sont eux-mêmes en communication avec les conduits aboutissant à la cheminée.

Un four à moufles avec foyer à grille pour l'extraction du zinc, autrefois employé dans la Haute Silésie, l'*ancien four à zinc silésien*, est représenté par les figures 490, 491 et 492. *b* est la grille; *a, a* sont les moufles en

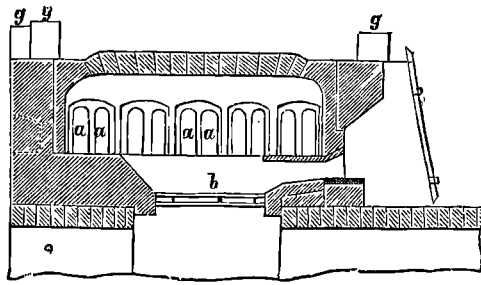


Fig. 490. — Ancien four à moufles silésien pour l'extraction du zinc ; coupe longitudinale.

argile réfractaire; *h* (fig. 492) sont les récipients pour recevoir le zinc ; ils sont mis en communication avec les moufles par les tubes *z*. La flamme s'élevant de la grille enveloppe les moufles placés de chaque côté et une partie passe ensuite dans les fours *f, f* pour la calcination de la calamine, une autre partie dans les espaces *c* et *d*, dont le premier sert pour la cuisson des moufles et le second pour la refonte

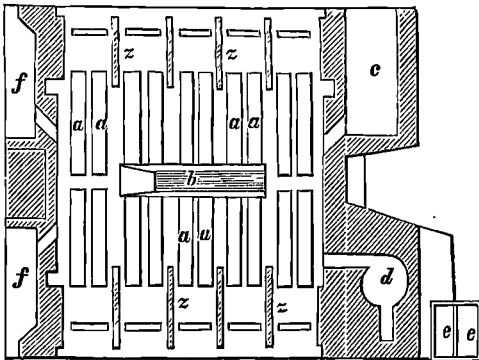


Fig. 491.

Fig. 491. — Ancien four à moufles silésien ; coupe horizontale.

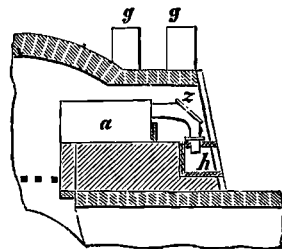


Fig. 492.

Fig. 492. — Ancien four à moufles silésien ; coupe transversale.

du zinc, et elle se rend ensuite dans les petites cheminées *g, g, g* (fig. 490 et 492).

Les figures 493 et 494 représentent un nouveau four à zinc à moufles avec chauffage au gaz. Le four possède deux gazogènes S. Les gaz de ces derniers passent par le carneau K dans quatre canaux verticaux G et y sont brûlés par mélange avec de l'air. Celui-ci est refoulé à l'aide de ventilateurs dans le canal Z, duquel il passe dans de petits canaux *x* entourant

le canal vertical G, et desquels il pénètre dans ce dernier par les fentes F. Le canal G est prolongé inférieurement jusqu'à l'espace *u*, destiné à rece-

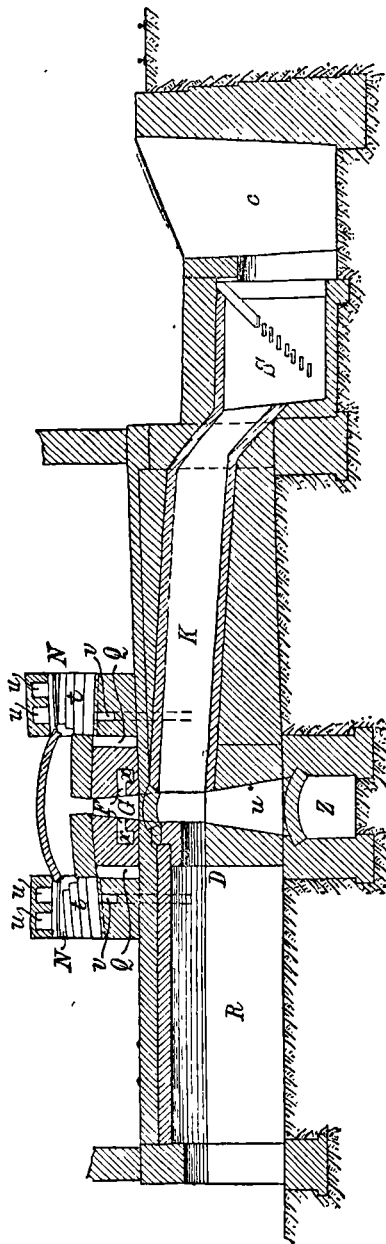


Fig. 493. — Four à moules pour l'extraction du zinc avec chauffage au gaz ; coupe transversale.

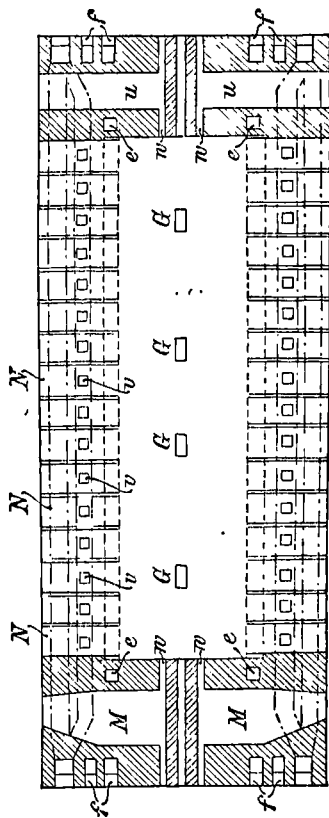


Fig. 494. — Four à moules pour l'extraction du zinc avec chauffage au gaz ; coupe horizontale.

voir la cendre entraînée. Pour enlever celle-ci, on pénètre par la cave R, qui communique avec *u* par le canal D. Les gaz en combustion, après

avoir chauffé les moufles, passent en majeure partie, par les canaux *w, w*, qui se trouvent aux deux extrémités du four, dans les chambres *M, M* et *u, u*, où ont lieu la cuisson des moufles et la calcination de la calamine.

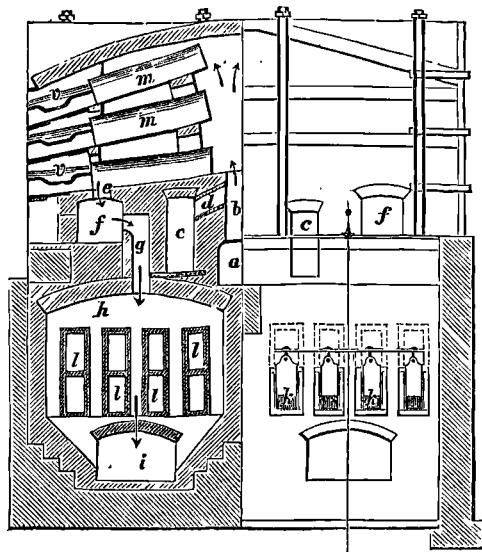


Fig. 495. — Four à moufles pour l'extraction du zinc avec chauffage au gaz et réchauffage de l'air de combustion.

De ces chambres, les gaz se rendent par les rampants *f, f* dans la cheminée. *N, N* sont des niches qui reçoivent les récipients de deux moufles.

Un four à moufles pour l'extraction du zinc avec chauffage au gaz et réchauffage de l'air de combustion est représenté par la figure 495. Dans le laboratoire se trouvent trois séries superposées de moufles *m*; *v, v* sont les récipients (en terre cuite) pour recueillir le zinc. Le gaz se rend du gazogène (non visible dans la figure) par le canal *a* dans le canal vertical *b* et là il se mélange avec l'air de combustion, qui arrive, par les canaux *l, l*, dans le canal *c* et de ce dernier par le canal *d* dans le canal *b*.

La flamme, après s'être d'abord élevée vers la voûte et s'être ensuite rabattue, pénètre par les ouvertures *e* dans le canal *f*, puis arrive par *g* dans le grand canal horizontal *h* et de ce dernier elle passe dans le canal *i* conduisant à la cheminée. Dans leur trajet à travers le canal *h*, les gaz brûlés enveloppent les canaux adducteurs de l'air *l, l* et réchauffent ce dernier.

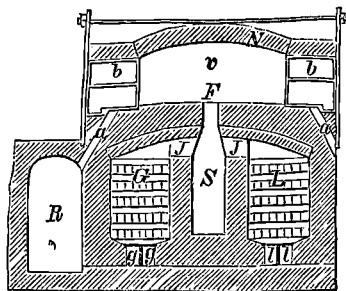


Fig. 496. — Four à zinc à moufles avec chauffage Siemens; coupé transversal.

Les figures 496 et 497 représentent un *four à zinc à moufles avec chauffage Siemens*. L sont les régénérateurs pour l'air, G les régénérateurs pour le gaz; *g,g* sont les canaux pour l'entrée (ou la sortie) du gaz, *l,l* les canaux pour l'entrée de l'air dans les régénérateurs correspondants (ou

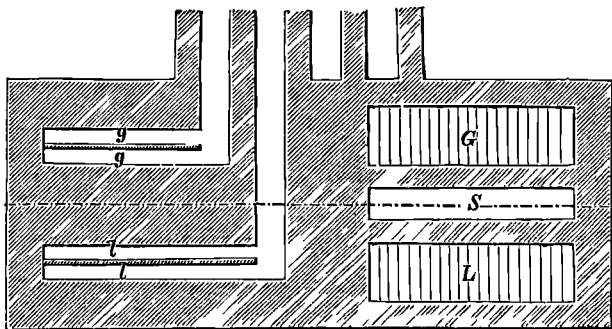


Fig. 497. — Four à zinc à moufles avec chauffage Siemens; coupe horizontale.

sa sortie de ces derniers). Le gaz et l'air arrivent réchauffés par les canaux J,J dans l'espace F, où ils se mélangent.

La flamme monte d'abord dans une moitié du laboratoire *v* jusqu'à la voûte N, elle passe ensuite dans l'autre moitié et arrive à l'extrémité de celle-ci dans les régénérateurs, puis traverse ces derniers et passe dans la cheminée. Les résidus de la distillation contenus dans les moufles sont déversés par les canaux *a,a* dans la cave R.

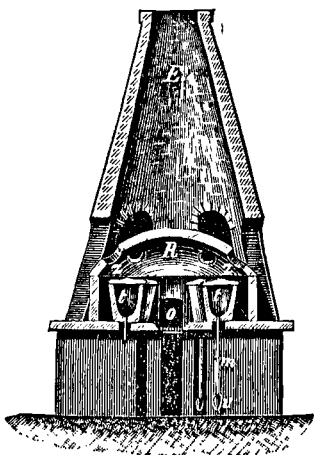


Fig. 498. — Four à zinc anglais (four à creusets).

Parmi les fours avec creusets comme vases, nous n'avons à mentionner que le *four à zinc anglais*, qui actuellement n'est plus employé. Il est représenté par la figure 498. Dans le laboratoire R en forme de dôme, sont placés un certain nombre de creusets *t* autour de l'ouverture circulaire *o*, ménagée dans la sole et par laquelle monte la flamme d'un foyer à grille établi au-dessous de cette ouverture. Les gaz, après avoir enveloppé les creusets, faits en terre réfractaire, passent par les ouvertures *z, z* dans la voûte du laboratoire et de là dans la cheminée E. Par l'ouverture dont le fond du creuset est muni, les vapeurs de zinc passent dans un tube vertical en fer *m*, qui débouche dans un récipient *v*, placé sur le sol de l'usine et dans lequel le zinc se rassemble.

La disposition du creuset avec le tube abducteur des vapeurs est mise en évidence par la figure 499. Le tube abducteur se compose de deux parties *b* et *c*. La partie supérieure *b* est supportée par la couronne de fer *d*, qui est rivée aux tiges de fer *f,f*, passant dans des glissières munies de



vis de pression *e, e*, qui permettent d'élever ou d'abaisser le creuset et de le maintenir à la hauteur désirée.

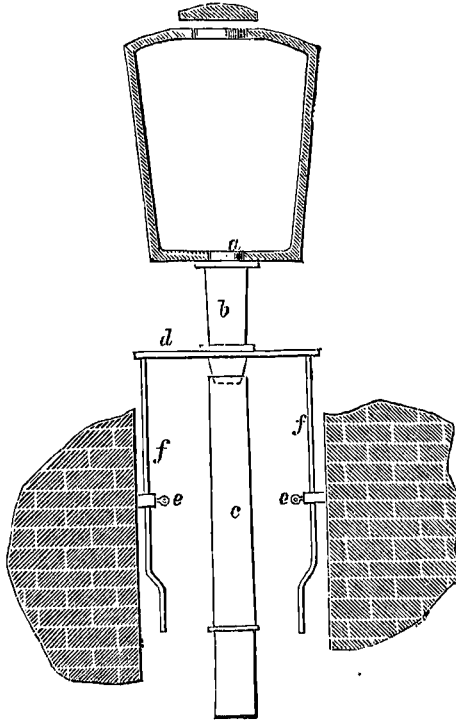


Fig. 499. — Creuset du four à zinc anglais avec son tube abducteur.

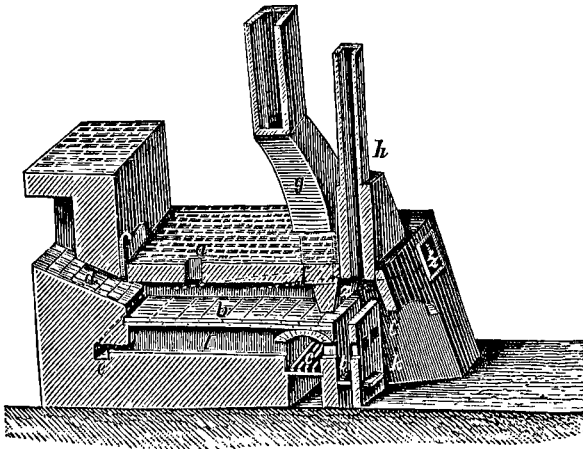


Fig. 500. — Four à moufle pour la préparation de l'acide arsénieux.

*L'extraction de l'acide arsénieux de la pyrite arsénicale est dans beau-*

coup de cas pratiquée dans des fours à moufle. Un pareil four est représenté par la figure 500. *b* est le moufle, *c* la grille. Les gaz du foyer se rendent par les cinq carneaux *l*, qui se trouvent sous la sole du moufle, vers la partie postérieure du four; ils descendent ensuite dans le canal transversal *e*, et de ce dernier ils pénètrent, par les canaux *f* établis sur les deux côtés longs du moufle, dans la double cheminée *g*. L'acide arsénieux dégagé dans le moufle passe par le canal *d* dans un système de chambres de condensation. L'air nécessaire pour l'oxydation pénètre par les ouvertures *i*. La cheminée *h* sert pour l'entraînement des vapeurs s'échappant par la porte de travail *z* du moufle. Les résidus sont déversés dans le canal *t*.

## II. — FOURS DANS LESQUELS LA CHALEUR EST PRODUITE AU MOYEN DU COURANT ÉLECTRIQUE

On distingue :

1° Les fours dans lesquels le chauffage est produit par la résistance électrique du corps à chauffer lui-même;

2° Les fours dans lesquels le chauffage est produit par la résistance d'un corps étranger se trouvant en contact avec le corps à chauffer, etc. ;

3° Les fours dans lesquels le chauffage est produit par l'arc voltaïque.

BORCHERS<sup>1</sup> appelle *chauffage par résistance* le chauffage des fours mentionnés en 1 et 2.

Avec les *fours électriques*, la production de la chaleur a lieu à l'intérieur du corps à chauffer. C'est pour cela que ce qu'il y a de mieux est de former le revêtement intérieur du four avec les corps à chauffer. Par refroidissement extérieur du four, on provoque la solidification d'une partie du corps à chauffer sur les parois du four et on produit ainsi un revêtement solide.

### 1. Fours dans lesquels le chauffage est produit par la résistance électrique du corps à chauffer.

De pareils fours sont employés pour la préparation des alliages d'aluminium et de l'aluminium. A ce groupe, appartiennent les fours de COWLES, d'HÉROULT, de BORCHERS. Ces fours travaillent avec des tensions relativement basses et de grandes intensités de courant.

Le four de Cowles a été autrefois employé pour la préparation d'alliages d'aluminium. Sa disposition est représentée par les figures 501 et 502<sup>2</sup>.

Le four consiste en une caisse rectangulaire, dont les parois et la sole sont en briques réfractaires. E, E sont les électrodes. Celles-ci sont des faisceaux de baguettes de charbon, qui sont fixés dans des gaines cylindriques M, M, en fer ou en cuivre. Dans la partie supérieure des gaines sont

<sup>1</sup> BORCHERS, *Entwicklung, Bau und Betrieb der elektrischen Oefen*, Halle a. S., 1897.

<sup>2</sup> BORCHERS, *Traité d'électrometallurgie*, édition française par L. GAUTIER, p. 117.

placées des baguettes de cuivre K, au moyen desquelles les électrodes sont mises en communication avec les câbles conducteurs du courant L. Dans ce but, il y a en V une pièce intermédiaire en cuivre, dans laquelle, d'une part, pénètrent les extrémités coniques des baguettes de cuivre et, d'autre part, sont serrées les extrémités des câbles en fil de cuivre L. R, R sont des tubes inclinés en fonte, dans lesquels les électrodes peuvent,

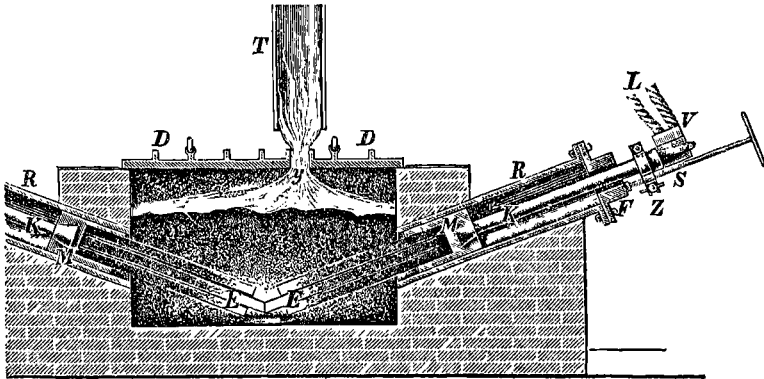


Fig. 501. — Four électrique de Cowles pour la préparation de l'aluminium et de ses alliages; coupe longitudinale.

au moyen de la vis S, être poussées en avant ou retirées. D est le couvercle en fonte de l'appareil. Le gaz oxyde de carbone, formé lors de la réduction de l'alumine par le charbon, se dégage par l'ouverture *y*, dont le couvercle est muni, dans le tube T, qui est en communication avec une chambre à poussières. *o* est un trou de coulée pour l'évacuation de l'alliage fondu dans le creuset *x*. La charge se compose d'un mélange d'alumine, de charbon de bois et de cuivre; au début du travail, deux des baguettes en charbon sortant des faisceaux formant les électrodes se touchent; elles s'échauffent très fortement et sont ensuite peu à peu retirées, et la charge s'interpose alors comme résistance dans le circuit. On chauffe jusqu'à ce que la majeure partie de la charge soit fondue, on met alors le four hors circuit, on le laisse refroidir et on le remet en travail. Dans ce four, la charge est chauffée assez fortement pour que l'alumine soit réduite par le charbon porté à une haute température en aluminium, qui s'allie avec le cuivre fondu. Comme Borchers l'a démontré, il n'y a pas ici électrolyse de l'alumine.

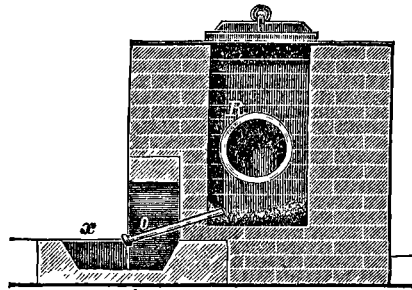


Fig. 502. — Four électrique de Cowles; coupe transversale.

On peut employer pour le chauffage aussi bien un courant continu qu'un courant alternatif. Dans les deux cas, il est réduit la même quantité d'aluminium.



de la charge et la sortie des gaz;  $o$  et  $o'$  sont les plaques, munies de poignées  $o''$ , qui servent à couvrir ces orifices. C est le canal pour l'écoulement de l'alliage ou du métal dans le moule  $t$ , garni de charbon. Le canal C est fermé au moyen d'une baguette de charbon  $c$ , maintenue par le ressort  $d$ .

Pour préparer du bronze d'aluminium, on dépose d'abord sur le fond du four des morceaux de cuivre, que l'on fond à l'aide de l'arc voltaïque.

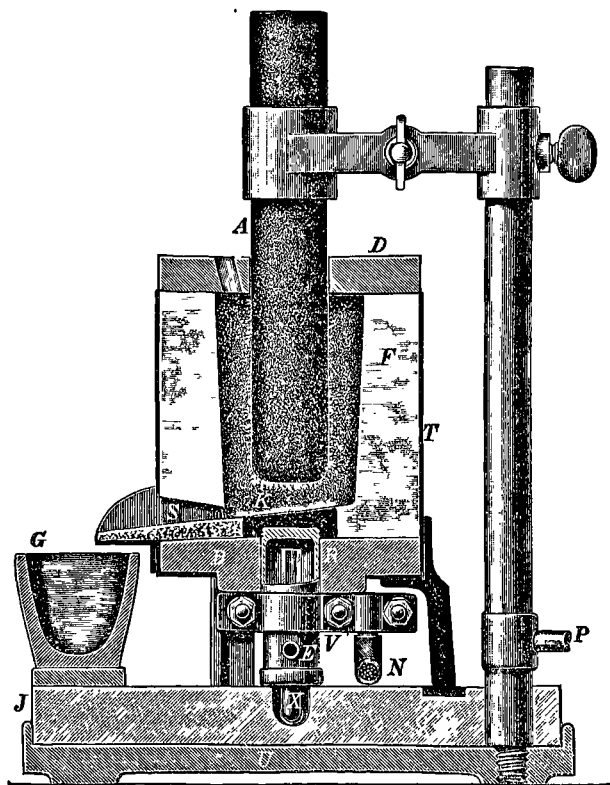


Fig. 505. — Four électrique de Borchers pour la préparation de l'aluminium.

Sur le cuivre fondu, qui maintenant forme la cathode, on dépose de l'alumine. Celle-ci entre en fusion; la masse fondue devient alors conductrice et le courant, en la traversant, la décompose en aluminium et oxygène. L'aluminium forme avec le cuivre du bronze d'aluminium, tandis que l'oxygène se rend à l'anode et donne avec le carbone de celle-ci de l'oxyde de carbone. Ce dernier se dégage par les ouvertures mentionnées précédemment. L'anode ayant été remontée au-dessus du bain, on écoule l'alliage et on ajoute, suivant les besoins, de nouvelles quantités d'alumine et de cuivre, opérations qui sont renouvelées de temps en temps.

En modifiant convenablement le four, le revêtement, l'arrivée du courant à la cathode, ainsi qu'en choisissant une charge convenable facile-

ment fusible, KILIANI est parvenu à préparer aussi dans ce four de l'aluminium pur. Comme l'aluminium absorbe du charbon, le contact de celui-ci avec le métal liquide doit être évité, parce que la présence de carbone dans l'aluminium diminue la valeur de ce dernier. Les détails de la disposition du four sont tenus secrets.

Le four de Borchers<sup>1</sup> pour l'extraction de l'aluminium est représenté par la figure 505. T est le four. Son revêtement se compose d'alumine,

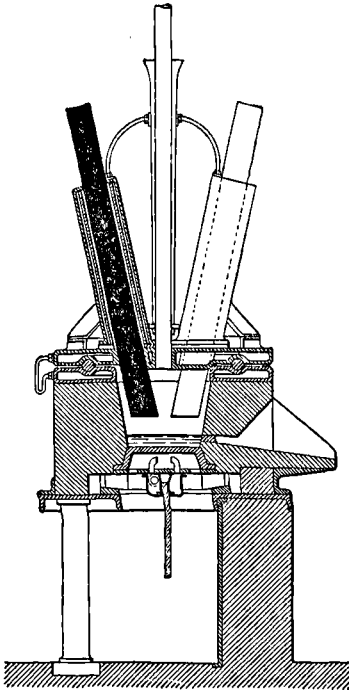


Fig. 506. — Four électrique d'Urbanitzky.

de spath fluor ou de cryolithe; il est refroidi, si c'est nécessaire, au moyen d'eau ou d'air froid circulant dans des conduits disposés autour du four ou dans le revêtement lui-même. Dans le revêtement du four, est placée une plaque d'acier K, servant de cathode. La fusion de cette plaque est empêchée au moyen du tube en cuivre R, dans lequel circule de l'eau froide. Celle-ci pénètre dans R par la tubulure E, dans laquelle elle monte jusqu'à une faible distance de la plaque K, pour descendre ensuite dans le tube X et s'écouler par ce tube, après s'être échauffée. Le câble négatif N est mis en communication, à l'aide de la pince V, avec le tube R, qui est lui-même en communication conductrice avec la plaque d'acier K. A est l'anode, formée de charbon. Au moyen d'une pince en fer, elle communique avec une tige de même métal, qui est vissée sur la plaque de fer U. Le courant est amené par la tige de cuivre P, qui, au moyen d'un manchon de cuivre, est mise en communication avec la tige de fer mentionnée. Le four est isolé de celle-ci par la plaque réfractaire J. L'aluminium séparé est évacué de temps en temps par le trou de coulée S, d'où il coule dans la lingotière G, tandis que les gaz produits pendant l'opération se dégagent par les ouvertures dont est pourvu le couvercle D. Pour mettre l'appareil en activité, on dépose d'abord sur son fond une petite quantité d'aluminium, dont on produit la fusion en rapprochant l'anode de la cathode. L'aluminium forme maintenant la cathode. On introduit alors l'alumine avec des fondants (sels haloïdes des métaux alcalins, alcalino-terreux et de l'aluminium lui-même). La masse fond et forme une couche liquide séparant l'anode de la cathode, de laquelle sont isolés par le courant de l'aluminium et de l'oxygène. A mesure que l'électrolyte se consomme, on en ajoute de nouvelles quantités.

Le four d'URBANITZKY, qui est représenté par la figure 506, a également

<sup>1</sup> BORCHERS, *Traité d'électrometallurgie*, p. 168.

un fond métallique refroidi. La couverture du four est aussi refroidie et plusieurs anodes sont disposées circulairement, ce qui rend possible un chargement central.

[Le four électrique de Harmet (*four Martin*) pour la fabrication de l'acier est en communication directe avec le dispositif de fusion et de réduction du minerai de fer qui doit fournir la fonte à convertir en acier et qui est aussi (en partie) chauffé électriquement. Le dispositif tout entier est représenté par la figure 507. Il se compose de trois parties principales :

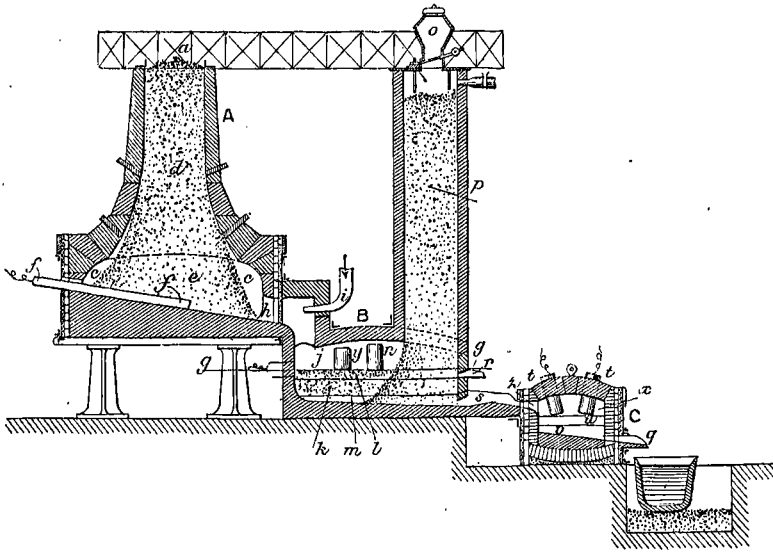


Fig. 507. — Fours électriques de Harmet pour la fabrication de la fonte et de l'acier.

le four de fusion A, le réducteur B et le four Martin électrique C, où a lieu l'affinage du métal brut produit en A et B.

Le minerai est chargé dans la cuve *d*, dont la partie inférieure évasée débouche dans la voûte *c* du four de fusion, dont la sole est inclinée vers le canal de communication *h* avec le réducteur B. Au-dessous de la cuve *d*, le minerai forme sur la sole un talus à pente naturelle, autour duquel circulent, dans l'espace libre *c*, les gaz incandescents venant du réducteur B. Ces gaz, montant par *h*, sont soufflés, par les tuyères *i*, dans le four de fusion; ils fondent le minerai qui se trouve sur la sole, montent dans la masse poreuse contenue dans la cuve et s'échappent par le gueulard. Afin de régulariser la répartition de la chaleur dans la charge d'oxyde et suppléer à l'insuffisance des calories provenant des gaz seuls, de longues électrodes en charbon *f, f* pénètrent jusqu'au centre de la masse *e*. Le four de réduction consiste en une cuve cylindrique verticale *p*, qu'on charge par la partie supérieure avec la matière réductrice (coke, charbon de bois, anthracite); la colonne formée par celle-ci traverse la voûte du creuset *j*, où a lieu la réduction et dont la sole inclinée est pourvue d'un trou de coulée *s* pour le métal, suivi d'une gouttière aboutissant au four

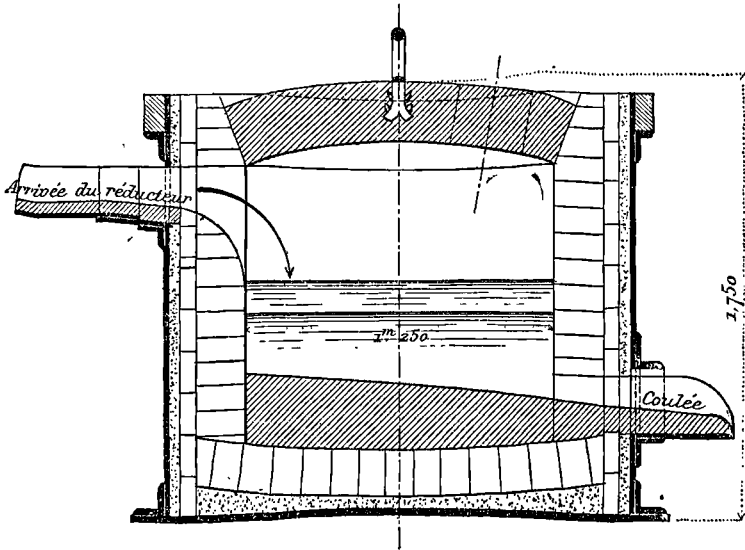


Fig. 508. — Four Martin électrique, système Harmet; coupe verticale suivant ABC (fig. 509).

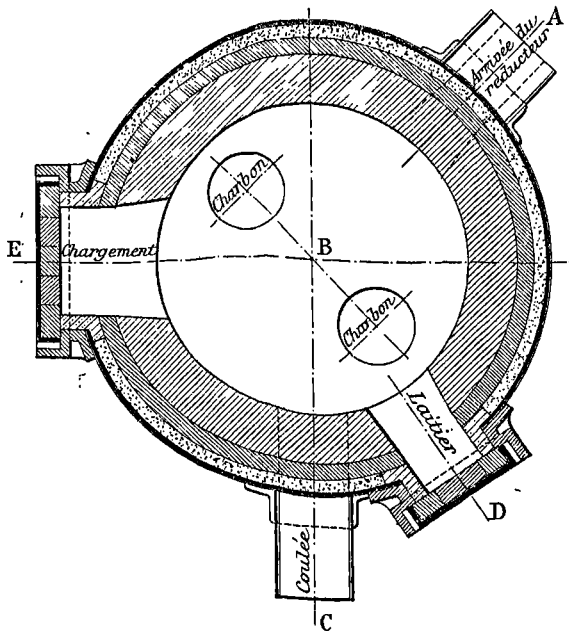


Fig. 509. — Four Martin électrique système Harmet; coupe horizontale par l'orifice de coulée du laitier et la porte de chargement.

Martin. Au-dessus du trou *s*, se trouve un second orifice *r* pour l'écoule-



ment du laitier;  $y$  et  $n$  sont les électrodes en charbon qui amènent le courant produisant la chaleur nécessaire pour la réduction. Le métal brut obtenu dans le réducteur est deversé par le canal  $z$  dans le four d'affinage C.

Ce dernier, est représenté isolément par les figures 508, 509 et 510; il

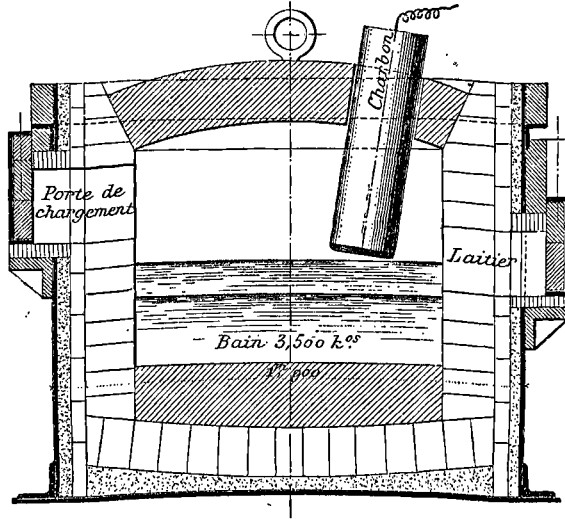


Fig. 510. — Four Martin électrique système Harnet; coupe verticale suivant DBE (fig. 509).

consiste en une cuve à section circulaire, dont la voûte est traversée par les électrodes en charbon ( $t, t'$  dans la figure 507); il est muni d'un trou de coulée ( $q$  dans la figure 507), de deux autres orifices, l'un pour le laitier, l'autre pour la matière réductrice, et d'une porte de chargement.]

## 2. Fours dans lesquels le chauffage est produit par la résistance d'un corps étranger se trouvant en contact avec le corps à chauffer.

Ces fours travaillent également avec des tensions relativement basses et de grandes intensités de courant.

A ce groupe appartient le four de BORCHERS, ainsi que différentes imitations de ce dispositif.

Le four de Borchers, qui est représenté par la figure 511<sup>4</sup>, consiste en une chambre en briques réfractaires, dans laquelle font saillie les extrémités de deux grosses baguettes de charbon  $K$ , servant de conducteurs. Entre ces grosses baguettes, est placée comme résistance, une troisième baguette  $k$  beaucoup plus petite, également en charbon. Cette dernière est enveloppée par la charge à chauffer et, fortement échauffée par le courant, elle transmet sa chaleur à la charge. BORCHERS a démontré,

<sup>4</sup> BORCHERS, *Traité d'électrometallurgie*, édition française par L. GAUTIER, p. 97.

à l'aide de cet appareil, que tous les oxydes considérés jusqu'ici comme irréductibles peuvent être réduits par le carbone chauffé.

Le four de King et Watt, représenté par la figure 512<sup>1</sup>, se compose de

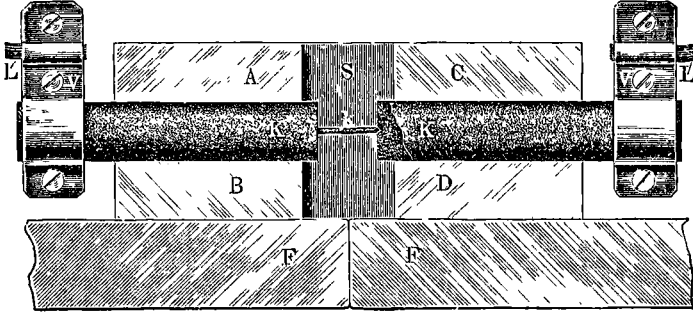


Fig. 511. — Four électrique de Borchers.

la charge accumulée en un tas et d'une mince baguette de charbon traversant ce tas et mise en contact à ses deux extrémités avec deux grosses baguettes également en charbon.

### 3. Fours dans lesquels le chauffage est produit par l'arc voltaïque.

L'*arc voltaïque* fournit de très hautes températures. Ces températures ont été déterminées pour des électrodes en charbon pour VIOLLE ET GRAY.

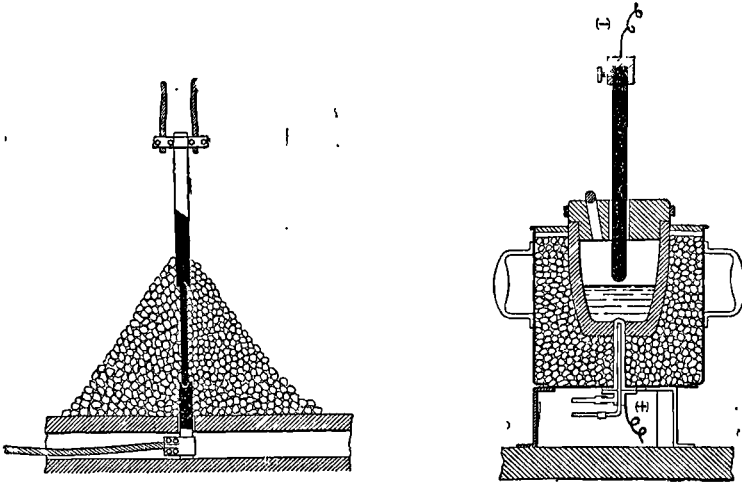


Fig. 512. — Four électrique de King et Watt. Fig. 513. — Four électrique de Siemens.

D'après ces savants, on peut admettre que la température s'élève à l'anode à 3500°, à la cathode à 2700° environ. A l'anode, la température ne

<sup>1</sup> BORCHERS, *Entwicklung, Bau und Betrieb der elektrischen Oefen.*

peut pas dépasser  $3500^{\circ}$ , parce qu'à cette température le carbone se volatilise sous la pression atmosphérique ordinaire. La température de l'arc voltaïque lui-même serait entre  $3500^{\circ}$  et  $4000^{\circ}$ . L'arc voltaïque produit entre deux métaux ou entre une anode métallique et une cathode d'une matière quelconque doit avoir une température plus basse, parce que les métaux se volatilisent à des températures plus basses que le carbone.

D'après BORCHERS, on distingue ces fours en fours dans lesquels la substance à chauffer forme un des pôles, ou les deux pôles de l'arc voltaïque et fours dans lesquels la substance à chauffer se trouve dans un espace chauffé par l'arc électrique.

a) Fours dans lesquels la substance à chauffer forme l'un des pôles ou les deux pôles de l'arc voltaïque.

Aux fours dans lesquels la substance à chauffer forme un des pôles de l'arc voltaïque appartiennent les fours de SIEMENS, de la WILLSON ALUMINIUM

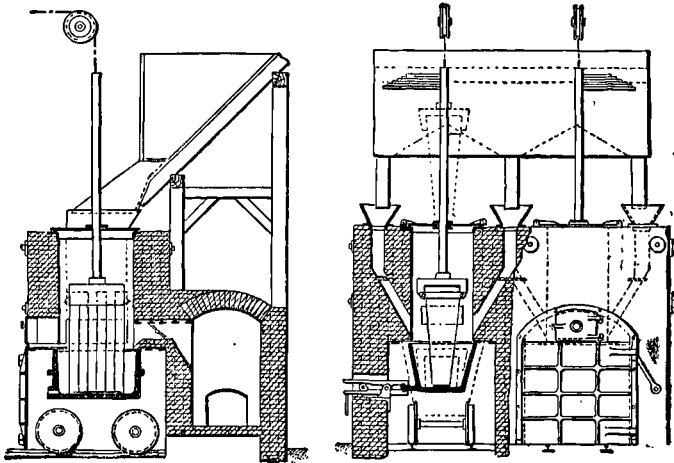


Fig. 514 et 515. — Four électrique de la Willson Aluminium Company, pour la préparation du carbure de calcium.

COMPANY, de TENNER, de BULLIER, de THWAITE et ALLEN, de RATHENAU et d'autres.

Aux fours dans lesquels la substance à chauffer forme les deux pôles de l'arc voltaïque appartient le four de SLAVIANOFF.

La disposition du four de Siemens est mise en évidence par la figure 513. Le courant arrive par le fond du creuset dans la masse conductrice à fondre, qui forme l'anode. Le pôle par lequel le courant pénètre dans le fond du creuset est un corps métallique creux refroidi par de l'eau. La cathode, qui est en charbon, traverse le couvercle du creuset, auquel elle est suspendue. Le courant pénètre dans la masse à fondre et il traverse la couche d'air laissée entre la surface de la masse et la cathode, en formant un arc voltaïque. SIEMENS (dans le brevet anglais n° 2110, de 1879) recommande d'entourer le creuset d'un solénoïde traversé par un courant, afin

de contrebalancer la tendance qu'a l'arc voltaïque à jaillir sur les parois du creuset<sup>1</sup>.

Le four de la Willson Aluminium Company, à Spray (Caroline du Nord), était primitivement destiné à la fabrication de l'aluminium, mais plus tard on l'employa pour la préparation du carbure de calcium. Il est représenté par les figures 514 et 515.

Le four se compose d'une cuve, pourvue de dispositifs de chargement, de canaux à gaz et de canaux à poussières, et d'un creuset de fusion mobile. Le fond de ce dernier est recouvert de plaques de charbon et il forme un des pôles de l'arc électrique. Le revêtement des parois du creuset

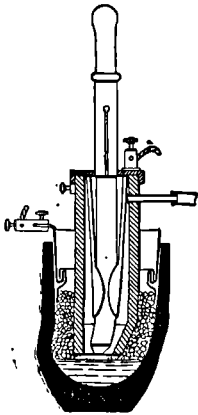


Fig. 516. — Four électrique de Thwaite et Allen.

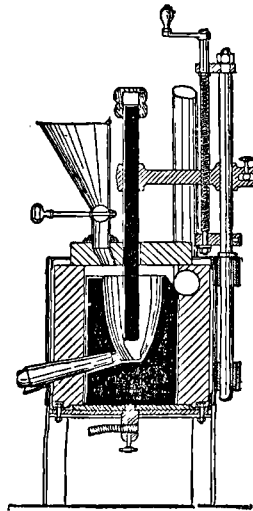


Fig. 517. — Four électrique de l'affinerie de Fraucfort-sur-Mein.

est formé par la partie de la charge restant indécomposée. L'autre électrode (la supérieure) se compose de six blocs de plaques de charbon, qui sont maintenus par une pince et peuvent être élevés et abaissés avec celle-ci. Lorsqu'on veut effectuer une fusion, on descend le pôle supérieur jusqu'à une faible distance du pôle qui se trouve dans le creuset et l'on remplit ce dernier avec la charge, qui n'est pas conductrice. On produit alors un arc électrique à l'aide d'un courant alternatif. Cet arc fond la charge et il se forme du carbure de calcium, qui est conducteur. Maintenant on soulève l'électrode supérieur à une hauteur suffisante pour que l'arc électrique qui en sort puisse jaillir sur les masses fondues<sup>2</sup>.

Dès qu'il s'est formé une quantité suffisante de carbure de calcium, on interrompt le courant et, après qu'il s'est suffisamment refroidi, on retire le produit du creuset.

Dans les fours de Thwaite et Allen, l'arc voltaïque est produit à une

<sup>1</sup> Voy. BORCHERS, *Traité d'électrometallurgie*, p. 144.

<sup>2</sup> Voy. BORCHERS, *Traité d'électrometallurgie*, p. 450.

grande profondeur dans la masse à fondre, afin d'éviter des pertes de chaleur par rayonnement et pour que les gaz puissent sortir du creuset sans aucun obstacle.

La disposition de l'un de ces fours est mise en évidence par la figure 516. La masse à fondre, qui doit être conductrice, forme l'un des pôles de l'arc voltaïque. L'autre pôle, un pôle en charbon, est entouré d'un tube en matière non conductrice. La charge est placée dans l'espace annulaire qui se trouve entre ce tube et la paroi du creuset. La communication des pôles avec la source du courant est établie comme il est indiqué sur la figure.

Le four de l'Affinerie de Francfort sur-le-Mein, employé pour des expériences, est représenté par la figure 517. L'un des pôles est un creuset en charbon, l'autre une baguette de charbon, qui est suspendue dans le creuset et peut être élevée ou abaissée. La charge est introduite par un entonnoir fixé dans le couvercle du creuset. La charge fondue, le pôle supérieur étant rapproché du fond du creuset, forme le pôle inférieur.

Dans le four de Slavianoff, les deux pôles de l'arc électrique sont formés par le corps à fondre, qui est un métal (fer). Le pôle positif est constitué par une barre du métal à fondre, tandis que la masse fondue elle-même représente le pôle négatif. Le dispositif est représenté par la figure 518<sup>1</sup>.

b) *Fours dans lesquels les substances à chauffer se trouvent dans un espace chauffé par l'arc voltaïque.*

Le premier four pratique de cette espèce a été indiqué par CH. W. SIEMENS. Sa disposition est mise en évidence par la figure 519. Les élec-

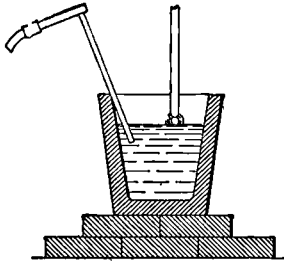


Fig. 518. — Four électrique de Slavianoff.

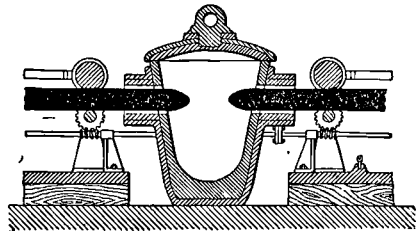


Fig. 519. — Forme électrique de Ch. W. Siemens.

trodes sont introduites à travers la paroi du creuset. Au moyen d'une roue dentée et d'une vis sans fin, elles peuvent être poussées l'une vers l'autre à mesure qu'elles se raccourcissent.

Dans le four de Rogerson, Statter et Stevenson<sup>1</sup>, représenté par les figures 520 et 521, l'arc voltaïque est attiré vers la sole du laboratoire au moyen d'un électro-aimant en fer à cheval.

Dans le four de Ducretet et Lejeune, que représente la figure 522, le

<sup>1</sup> BORCHERS, *Entwicklung, Bau und Betrieb der elektrischen Oefen.*

creuset de fusion se trouve dans un grand laboratoire, dans lequel des gaz

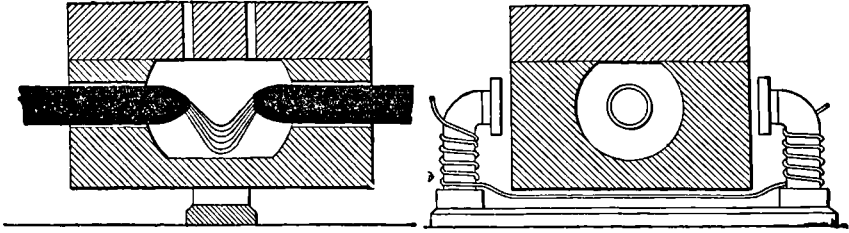


Fig. 520. — Four électrique de Rogerson, Statter et Stevenson ; coupe longitudinale.

Fig. 521. — Four électrique de Rogerson, Statter et Stevenson ; coupe transversale.

peuvent être introduits par des ajutages latéraux. Afin que l'on puisse

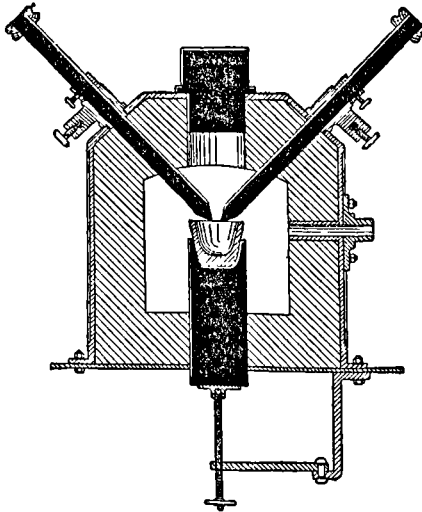


Fig. 522. — Four électrique de Ducretet et Lejeune.

observer la marche de la fusion, les parois antérieures et postérieures du

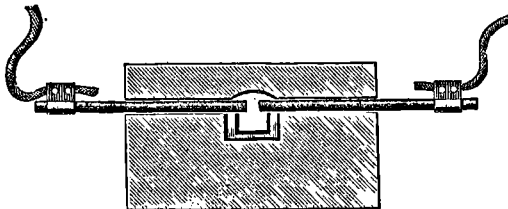


Fig. 523. — Four électrique de Moissan ; coupe verticale.

four sont faites de lames de mica. Au moyen d'un électro-aimant établi

dans le voisinage du four sur la table de travail, l'arc voltaïque est attiré dans le creuset.

[Le four de Moissan est représenté par les figures 523 et 524. Il se compose d'un bloc de pierre calcaire, dans lequel est creusée une cavité rec-

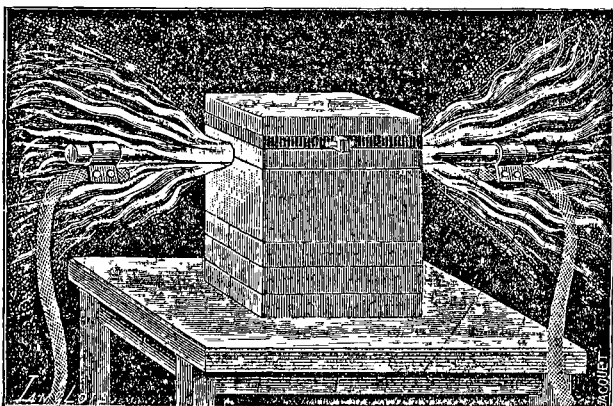


Fig. 524. — Four électrique de Moissan ; vue extérieure du four en activité.

tangulaire, dont les parois sont garnies de plaques de magnésie, sur lesquelles sont appliquées des plaques de charbon. Le courant électrique est amené par deux électrodes, formées de grosses baguettes de charbon.

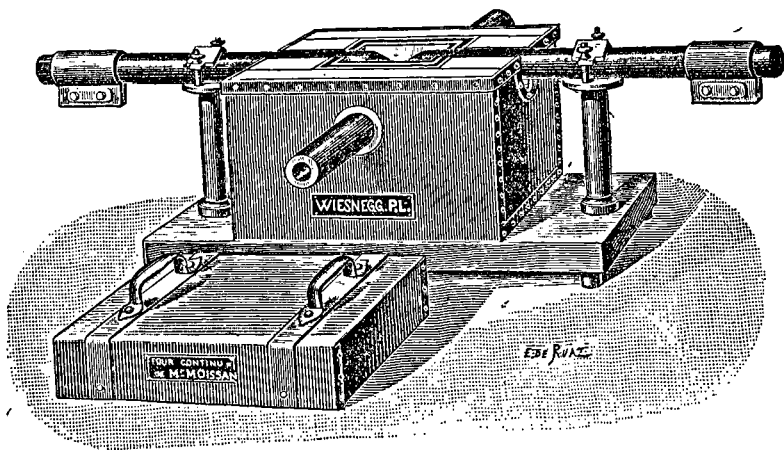


Fig. 525. — Four électrique de Moissan avec tube.

Celles-ci sont disposées de façon à laisser entre leurs extrémités l'intervalle nécessaire pour la production de l'arc voltaïque et à ne pas toucher les plaques de charbon formant le revêtement intérieur. La matière à chauffer est placée dans un creuset en charbon et ce dernier est introduit dans le four, qui est ensuite recouvert d'un bloc de pierre calcaire semblable au premier.

Lorsqu'on veut éviter l'action des gaz dégagés par le four sur la matière qui y est chauffée, on place celle-ci dans un tube en charbon, dont l'extrémité intérieure se trouve un peu au-dessous des électrodes ; l'orifice extérieur du tube est ensuite fermé au moyen d'un bouchon en magnésie.

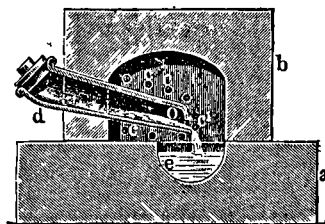


Fig. 526. — Four électrique de Chaplet.

Un pareil four est représenté par la figure 525. Pour mettre le four en activité, on rapproche les électrodes lentement, puis quand le four est un peu échauffé, on les écarte peu à peu de façon à produire un arc de 2-2,5 centimètres. Le four se remplit alors d'une flamme pourpre, due à la combustion du cyanogène, résultant de la combinaison de l'azote de l'air avec l'acétylène produit par l'action de la vapeur d'eau sur le charbon, et en même temps, comme le montre la figure 524, de longues flammes s'échappent des orifices traversés par les électrodes.

Dans le four de Chaplet, on produit plusieurs arcs voltaïques autour de la substance à chauffer ou du tube qui la renferme, comme dans le dispositif représenté par la figure 526, dans laquelle *a* et *b* sont les deux pièces composant le four, et *c, c* les électrodes ; *d* est le tube contenant les matières à fondre et *o* un orifice par lequel la matière fondue s'écoule dans le bassin *e*.]

#### Fours mixtes.

[Ces fours, proposés par AD. MINET, sont disposés de façon à pouvoir être chauffés simultanément ou séparément au moyen de gaz de hauts fourneaux ou autres et à l'aide de l'électricité. Ils pourraient être employés avec avantage dans certaines opérations d'électrometallurgie par voie sèche, la chaleur résultant de la combustion des gaz servant alors à élever les matières à décomposer à la température de la réaction et à l'y maintenir, et le courant électrique provoquant ensuite la réaction par électrolyse, comme, par exemple, dans la préparation de l'aluminium, du sodium, etc. Ces fours peuvent aussi être employés dans les cas où l'électricité ne joue que le rôle d'agent calorifique, en réservant son action pour la fin de l'opération, c'est-à-dire pour le moment où il est nécessaire de porter à une très haute température les matières traitées, que l'on aura préalablement échauffées par la combustion des gaz.

La disposition d'un des fours mixtes, imaginés par MINET, est mise en évidence par la figure 527<sup>1</sup>.

Ce four se compose d'une chambre centrale de réaction W, munie d'un trou de coulée T et séparée des chambres de chauffe S,S par les cloisons D,D, dont la nature varie avec celle des matières traitées. Les chambres de chauffe reçoivent par les orifices *o, o* soit des gaz de haut fourneau des carneaux *c, c*, soit du gaz riche ou pauvre des carneaux C<sup>1</sup>, C<sup>1</sup>, qui vien-

A L. MINET, *Traité d'électro-metallurgie*, p. 282.



nent s'y brûler. Elles sont séparées des chambres R,R par les cloisons B,B en terre réfractaire, dans lesquelles sont ménagées des entrées d'air V communiquant avec les chambres de combustion par les canaux U. Les

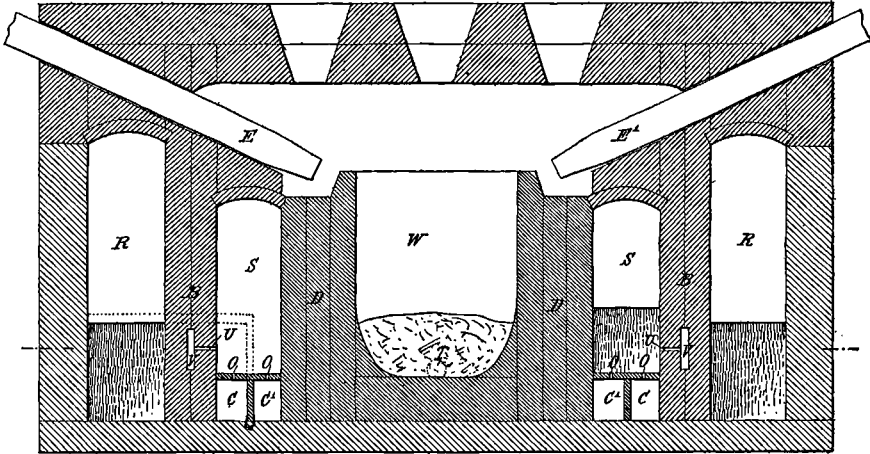


Fig. 527. — Four mixte de Minet.

gaz de haut fourneau, avant de pénétrer dans les carnaux *c,c* traversent les chambres R,R, où ils sont réchauffés. Le courant électrique est amené par les charbons E,E' servant d'électrodes.]

#### B. — Dispositifs dépendant des fours, c'est-à-dire fonctionnant en même temps qu'eux.

Comme on l'a déjà dit, ces dispositifs sont les dispositifs de chargement et les prises de gaz, les dispositifs pour recueillir les poussières et les fumées, ainsi que les gaz nuisibles, les dispositifs pour fournir, réchauffer et conduire l'air nécessaire pour la séparation du métal et les monte-charge.

##### a. — DISPOSITIFS DE CHARGEMENT

L'introduction dans les fours des corps à chauffer a lieu, avec les *fours à réverbère*, par des ouvertures latérales ou des ouvertures ménagées dans la voûte du laboratoire; avec les *fours à moufles*, à *creusets*, etc. (*fours à vases*), par des ouvertures dans les côtés ou dans la partie supérieure des vases. Les ouvertures latérales sont, si cela est nécessaire, maintenues fermées pendant le travail au moyen de portes, de registres ou de briques mobiles. Les ouvertures supérieures sont également closes, lorsque c'est nécessaire, au moyen de couvercles, de registres ou de trémisses ou de cônes.

Dans les *fours à cuve*, l'introduction des matières à chauffer, de même que celle des combustibles, a lieu à leur partie supérieure, par le

gueulard. Cette introduction, qui porte le nom de *chargement*, doit être effectuée de façon que les gaz montant dans la cuve abandonnent aussi complètement que possible leur chaleur aux corps descendants, afin qu'ils puissent, si c'est nécessaire (dans les opérations de réduction), agir aussi longtemps que possible chimiquement sur la charge et que les gaz, s'ils doivent être utilisés (gaz de gueulard contenant de l'oxyde de carbone, acide sulfureux), puissent être retirés du four complètement et sans gêner le chargement.

Les gaz qui montent dans les fours à cuve tendent à s'élever le long des parois, parce que c'est là qu'il y a le moins de résistance. Mais les gaz qui suivent cette voie ne peuvent pas céder entièrement leur chaleur aux charges de lit de fusion et de combustible qui descendent, ni agir chimiquement sur elles. C'est pour cela qu'ils doivent être contraints de passer autant

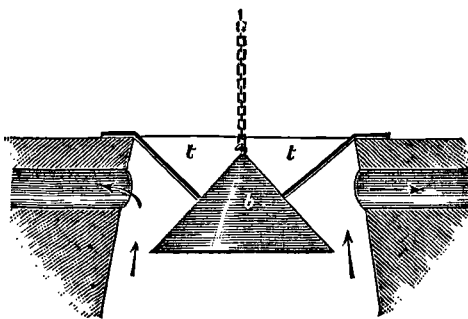


Fig. 523. — Appareil de chargement (et prise de gaz) de Parry.

que possible par le milieu de la charge. Pour obtenir ce résultat, on déverse les parties les plus fines du lit de fusion sur le bord des fours et les parties grossières dans le milieu de ces derniers. Comme les minerais ont de la tendance à rouler vers le milieu du four, on met autant que possible le combustible, qui est plus léger et plus poreux que le lit de fusion, dans le milieu du four.

Si le gueulard est ouvert, le chargement est effectué à l'aide de baquets ou de paniers ou au moyen de wagonnets, dont le fond est mobile et peut être abaissé au-dessus du gueulard, de façon que leur contenu tombe dans le four.

Si l'on veut recueillir aussi complètement que possible et utiliser les gaz qui montent dans le four, on travaille avec le gueulard fermé, comme avec les hauts fourneaux à fer et les fours pour le grillage des sulfures métalliques.

Pour les fours, avec lesquels une perte de gaz pendant le chargement n'a pas d'inconvénients, on emploie pour la fermeture de l'ouverture du gueulard un couvercle ou un registre, comme cela a lieu pour un grand nombre de fours à griller des sulfures.

Si, au contraire, on doit éviter une perte de gaz pendant le chargement et si le lit de fusion doit être placé de façon que ses parties fines se trouvent sur le bord du four et ses parties grossières et le combustible dans

le milieu, on a recours à des dispositifs de chargement particuliers. Ceux-ci trouvent surtout emploi dans l'extraction de la fonte dans des hauts fourneaux, parce qu'on se sert comme combustibles des gaz de ces fours, à cause de l'oxyde de carbone qu'ils renferment.

Les dispositifs en question sont des entonnoirs suspendus dans le gueulard et qui sont fermés au moyen de cônes, de cylindres ou de cloches mobiles.

L'entonnoir avec fermeture au moyen d'un cône, qui a été introduit par PARRY en 1870 et est à cause de cela appelé *entonnoir* ou *trémie* de PARRY, est représenté par la figure 528.

L'entonnoir *t* suspendu dans le gueulard est fermé par le cône *b*, suspendu à une chaîne. Le lit de fusion et le combustible sont déversés dans l'espace qui se trouve entre le cône et l'entonnoir. Lorsqu'on descend le

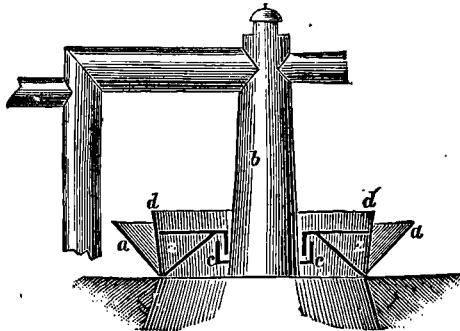


Fig. 529. — Appareil de chargement de Langen.

cône, il se produit une ouverture annulaire, par laquelle le lit de fusion ou le combustible s'éboulent dans le four. Si l'on descend le cône jusqu'à la surface du lit de fusion, les corps qui s'en éboulent tombent sur le bord du four et y restent. Si, au contraire, on ne descend que peu le cône, de façon qu'il se trouve encore à une assez grande hauteur au-dessus de la surface du lit de fusion, les matières viennent d'abord tomber sur le bord du four, d'où les morceaux les plus gros roulent dans son milieu. Maintenant, pour que l'on puisse placer les minerais fins sur le bord et le combustible dans le milieu du four, on charge d'abord des combustibles et on les laisse s'ébouler dans le four, le cône étant encore à une certaine hauteur au-dessus de la surface du lit de fusion ; ce n'est qu'ensuite qu'on charge le lit de fusion. On a aussi atteint ce but d'une autre manière, en munissant l'entonnoir et le cône à leur extrémité inférieure d'un ajutage cylindrique et en donnant au cône un diamètre tel qu'il puisse être aussi bien descendu au-dessous de l'entonnoir que remonté dans celui-ci. Lorsqu'on remonte le cône, les matières tombent dans le milieu du four, lorsqu'on l'abaisse, elles s'ébouler sur le bord.

L'entonnoir avec fermeture à cloche ou à cylindre a été introduit par LANGEN. Dans ce dispositif, est suspendu dans l'entonnoir, à la place du cône, un cylindre ou une cloche *z*, comme le montre la figure 529. L'espace entre l'entonnoir *a* et la cloche ou le cylindre *z* est rempli avec le

lit de fusion ou le combustible. Lorsqu'on soulève le cylindre ou la cloche, le lit de fusion ou le combustible s'éboulent dans le four et forment un cône dans son milieu. Les masses qui sont ensuite chargées s'éboulent sur ce cône et roulent vers les parois du four. C'est pour cela qu'on introduit toujours tout d'abord la charge de coke, afin que celle-ci forme un cône dans le milieu du four, et ce n'est qu'après que l'on introduit la charge de minerai, qui, sur le cône de charbon, s'éboule en roulant vers la paroi.

Cette fermeture a sur la fermeture à cône l'avantage de permettre de charger le four jusqu'à une faible distance de l'entonnoir, tandis qu'avec la fermeture à cône, il doit toujours rester sous l'entonnoir l'espace nécessaire pour abaisser le cône.

On peut aussi, comme dans le dispositif de BUDERUS, réunir la fermeture à cône et la fermeture à cloche. Dans ce cas, un cône mobile est suspendu dans la cloche mobile. Le lit de fusion et le combustible sont déversés, dans l'espace entre la cloche et l'entonnoir. Lorsqu'on soulève la cloche, les matières tombent dans le milieu du four, tandis que lorsqu'on abaisse en même temps le cône, elles tombent sur le bord.

#### b. — PRISES DE GAZ

Avec les dispositifs de chargement dont il vient d'être question sont combinés, toujours lorsqu'il s'agit des hauts fourneaux à fer, dans certains cas (fonte de schistes cuprifères, grillage de sulfures métalliques) lorsqu'il s'agit d'autres fours, des dispositifs pour recueillir les gaz dégagés des fours.

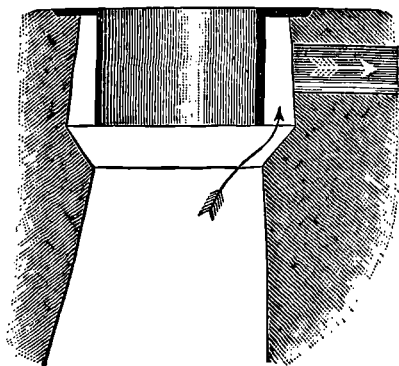


Fig. 530. — Prise de gaz de Pfort.

On recueille les gaz produits dans les fours à cuve, soit *au-dessous* de la surface supérieure de la colonne du lit de fusion, soit *au-dessus* de celle-ci. Dans le premier cas, le gueulard des fours est ouvert, dans le second, il est fermé.

Le captage des gaz *au-dessus* de la surface supérieure de la colonne du lit de fusion a lieu soit *sur le côté*, soit *dans le milieu* de cette colonne.

La prise de gaz de Pfort doit être regardée comme le type des dispositifs de la première espèce, et celle de DARBY comme le type de ceux de la seconde espèce.

La *prise de gaz de Pfort* (fig. 530) est un cylindre en fer, qui est suspendu dans le gueulard, de façon qu'entre ses parois et celles du four il soit formé un espace annulaire, dans lequel se rassemblent les gaz, qui passent ensuite dans un tube horizontal s'ouvrant dans cet espace.

Ce dispositif, comme en général tous ceux qui prennent le gaz latéralement, a l'inconvénient d'attirer ces derniers plus vers les parois que dans le milieu.

C'est pour cela que l'on a aussi réuni la prise latérale et la prise centrale.

La *prise de gaz de DARBY* (fig. 531) consiste en un tube suspendu dans le milieu du four et qui, à son extrémité supérieure, est en communication avec un tuyau abducteur horizontal.

Le tube central est un peu rétréci par en bas, afin de diminuer le frottement de la colonne du lit de fusion sur ses parois.

Avec cette prise de gaz, l'appel des gaz est quelquefois si énergique qu'il n'en monte pas du tout dans le voisinage des parois. On a cherché à remédier à cet inconvénient en réunissant dans le même four le système de captage latéral et le système de captage central.

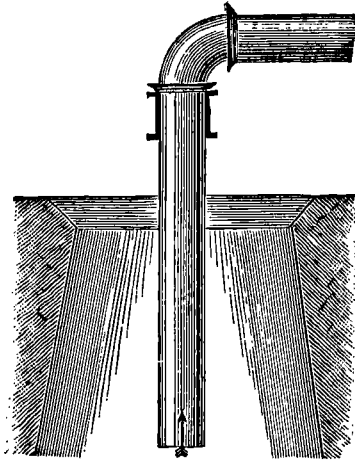


Fig. 531. — Prise de gaz de Darby.

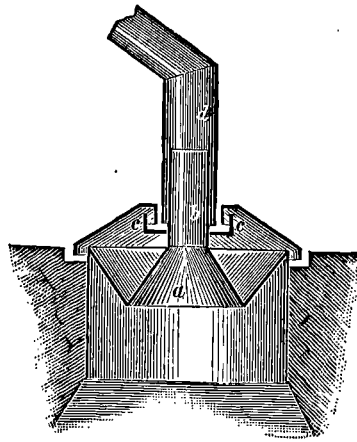


Fig. 532. — Prise de gaz de Hoff.

Le *captage des gaz au-dessus de la colonne* du lit de fusion peut également avoir lieu soit sur le côté, soit dans le milieu du four.

Lors du *captage latéral*, on emploie ordinairement pour le chargement l'entonnoir avec fermeture à cône ou à cloche, et l'on a recours au dispositif de PARRY avec cône mobile décrit précédemment, lorsqu'il s'agit de hauts fourneaux, et avec cônes ou avec cloches qui peuvent être soulevés, lorsqu'il s'agit de fours dans lesquels on grille des sulfures métalliques ou on fond des minerais de cuivre.

Pour le *captage central*, on se sert dans beaucoup d'usines des dispositifs de captage des gaz et de chargement réunis de HOFF et de LANGEN et aussi du dispositif de BUDERUS.

La *prise de gaz de HOFF* est un entonnoir de PARRY, dont le cône est muni d'un tube abducteur central pour le gaz. Elle est représentée par la figure 532.

Le cône *a* se termine supérieurement par un tube *b*, auquel est adaptée une gouttière *c*, remplie d'eau. Dans cette gouttière plonge le tube abducteur du gaz proprement dit *d*. Grâce à la fermeture ainsi établie, le cône peut être abaissé sans que sa communication avec le tube fixe soit inter-

rompue. Le cône est abaissé et relevé au moyen de deux leviers parallèles qui, à l'aide de deux chaînes en fer, sont reliés au cône.

La prise de gaz de LANGEN se compose d'un entonnoir avec fermeture à

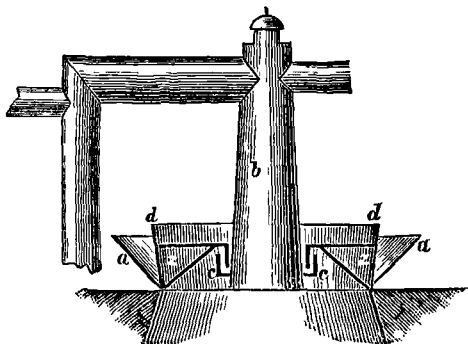


Fig. 533. — Prise de gaz Langen.

cloche et d'un tube abducteur central pour le gaz, relié à la cloche (fig. 533).

La cloche en fonte *z* a un bord recourbé inférieurement, qui plonge dans

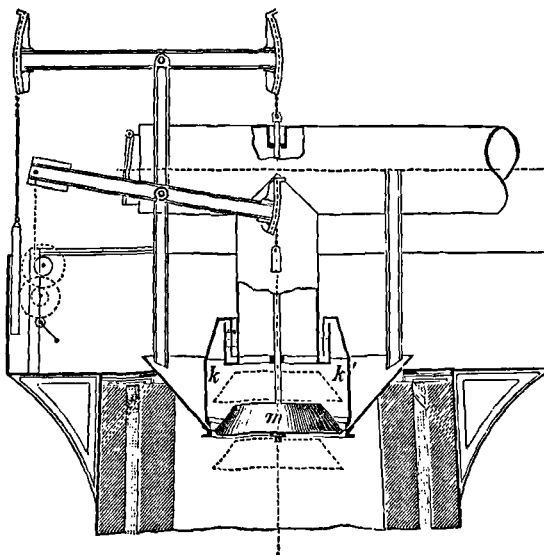


Fig. 534. — Prise de gaz de Buderus.

une gouttière remplie d'eau *c*, adaptée à l'extrémité inférieure du tuyau abducteur du gaz *b*. La cloche est entourée d'un anneau en tôle *d*, afin d'empêcher qu'elle ne soit couverte par des portions de la charge. Celle-ci est déversée dans l'espace entre l'anneau en tôle et l'entonnoir *a*. Grâce à la fermeture hydraulique entre la cloche et le tuyau abducteur du gaz, la

cloche peut être soulevée avec l'anneau en tôle et l'entonnoir, sans que l'afflux des gaz de la cloche dans le tube abducteur soit interrompu. Comme dans le dispositif de HOFF, la cloche est soulevée à l'aide de leviers et de chaînes.

La *prise de gaz* de BUDERUS (fig. 534) est une réunion des dispositifs de LANGEN et de HOFF. La cloche *k* est mise en communication avec le tuyau abducteur central de la même manière que dans le dispositif de LANGEN. Dans la cloche est suspendu un cône creux *m*, qui peut être abaissé et relevé (indépendamment de la cloche) au moyen d'un levier. La cloche peut également, indépendamment du cône, être relevée ou abaissée dans l'entonnoir à l'aide de leviers. Lorsqu'on soulève la cloche et le cône, la charge tombe dans le milieu du four; lorsqu'on soulève la cloche et qu'en même temps on abaisse le cône, elle s'étale vers les parois du four.

### c. — DISPOSITIFS POUR RECUEILLIR LES POUSSIÈRES, LES VAPEURS ET LES GAZ DES USINES

Dans un grand nombre d'opérations de séparation par la voie sèche, il s'échappe des fours des corps gazeux ou vaporiformes et des corps solides pulvérulents, corps qui agissent d'une façon fâcheuse sur les organismes animaux et végétaux, ou qui contiennent des éléments ayant encore de la valeur et qui de leur côté peuvent être également nuisibles pour ces mêmes organismes. Le métallurgiste doit rendre ces corps *inoffensifs* ou chercher à les utiliser. Dans beaucoup de cas, on peut rendre inoffensifs et en même temps utiliser les corps en question; dans d'autres cas, on doit se borner à empêcher leur action nuisible. Les corps solides pulvérulents, qui sont mélangés mécaniquement avec les gaz, sont désignés sous le nom de  *poussières* , et l'on nomme  *fumées*  le mélange de gaz et de vapeurs nuisibles ou utilisables avec des gaz ou des vapeurs indifférents ou sans valeur.

Les poussières se composent non seulement de particules du lit de fusion primitif, des combustibles et de leur cendre qui ont été entraînées mécaniquement par les gaz se dégageant du four, mais encore de corps qui se sont formés aux dépens de métaux ou de combinaisons à l'état de vapeurs, surtout aux dépens des oxydes du plomb, du zinc, de l'antimoine et de l'arsenic, de sulfures métalliques et de sulfates (de sulfate de plomb principalement). Les gaz et les vapeurs renferment surtout de l'acide sulfureux, du chlore, de l'acide chlorhydrique, des métaux et des métalloïdes à l'état de vapeurs, comme le plomb, le mercure, l'arsenic, le soufre, en outre du sulfure de plomb, des combinaisons d'antimoine et d'arsenic, des chlorures et de l'acide sulfurique.

Parmi les éléments dont il vient d'être question, le plomb, l'acide arsénieux et le mercure sont ceux qui exercent l'action la plus nuisible sur l'organisme animal. L'inhalation prolongée des vapeurs de plomb produit une maladie, qui se manifeste par de la constipation et l'ankylose des doigts.

L'acide arsénieux étant un poison violent, donne lieu à des accidents mortels.

Les vapeurs de mercure, respirées en petites quantités amènent des troubles du système nerveux, et absorbées en grandes quantités elles agissent mortellement.

L'acide sulfureux, l'anhydride sulfurique et l'acide chlorhydrique sont les éléments les plus nuisibles pour l'organisme végétal. L'acide sulfurique à l'état de vapeurs est, suivant SCHRÖDER et REICH, moins nuisible que les acides sulfureux et chlorhydrique. La présence dans l'air de 0,0001 vol. p. 100 d'acide sulfureux suffit, d'après STÖCKHARDT, pour que les arbres à feuilles aciculaires soient attaqués. Suivant FREITAG, les plantes cultivées dans les campagnes ne sont attaquées que lorsque la teneur de l'air en acide sulfureux s'élève au-dessus de 0,00135 p. 100 en volume.

L'élimination des corps en question des fumées des usines métallurgiques a lieu par *voie mécanique* ou par *voie chimique*. On a aussi employé l'électricité, à titre d'essai, pour la séparation de ces corps. Par voie chimique, on n'a jusqu'à présent séparé des gaz que des vapeurs acides, tandis que les poussières et les vapeurs métalliques sont séparées par voie mécanique.

On distingue :  $\alpha$ ) les dispositifs pour recueillir les poussières et les vapeurs métalliques et  $\beta$ ) les dispositifs pour recueillir et rendre inoffensifs, les gaz acides et le chlore.

#### $\alpha$ . — DISPOSITIFS POUR RECUEILLIR LES POUSSIÈRES ET LES VAPEURS MÉTALLIQUES

Les dispositifs pour recueillir les poussières et condenser les vapeurs métalliques contenues dans les fumées sont basés sur le refroidissement, la filtration, le lavage, le contact avec des surfaces, la diminution de la vitesse et le changement de la direction du courant des fumées.

On a aussi essayé l'emploi de l'électricité en tension.

Jusqu'à présent on n'est pas parvenu à l'aide des moyens nommés en premier lieu, qu'ils soient employés isolément ou combinés de façons les plus différentes, à séparer *complètement* des fumées les corps dont nous nous occupons. Un vaste champ reste donc encore ouvert à l'esprit inventif.

#### *Refroidissement des fumées.*

Si les fumées possèdent une haute température, leur *refroidissement* est la première condition à réaliser pour qu'il soit possible d'en séparer les corps solides et les vapeurs qu'elles renferment. Le refroidissement offre une importance particulière dans le cas de la présence dans les fumées de vapeurs métalliques. Il doit être d'autant plus intense que les corps à condenser sont plus volatils. On produit le refroidissement en faisant passer les fumées dans l'atmosphère froide de larges espaces, ou à l'aide des parois refroidies par de l'air ou de l'eau d'espaces étroits, ou bien par le contact direct des fumées avec de l'eau ou avec des objets froids placés dans l'espace où le refroidissement doit avoir lieu. Lorsque les fumées renferment des gaz acides, les parois des appareils refroidisseurs doivent être en plomb.



Un *dispositif de refroidissement par l'air* est représenté par la figure 535.

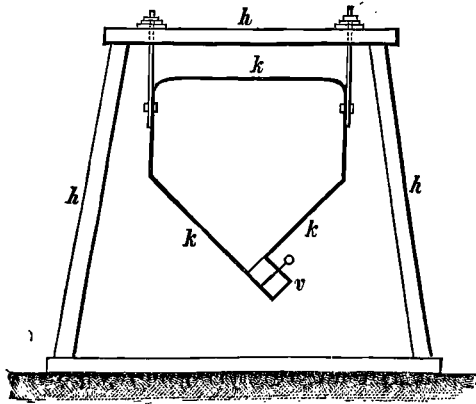


Fig. 535. — Appareil à refroidissement par l'air (usine à plomb d'Eureka, en Californie).

Il consiste en un conduit  $k$  fait en tôle de fer et suspendu dans une char-

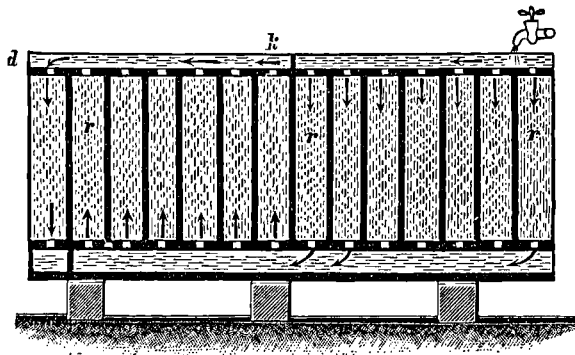


Fig. 536. — Appareil à refroidissement indirect par l'eau; coupe verticale.

penne en bois  $h$ . Les poussières se rassemblent sur le fond de  $k$  et sont

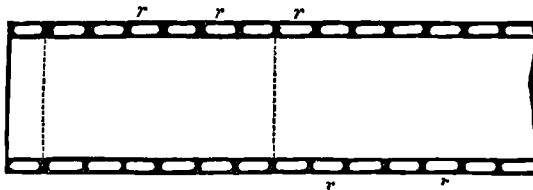


Fig. 537. — Appareil à refroidissement indirect par l'eau; coupe horizontale.

éliminées par des ouvertures  $v$ , qui se trouvent à une certaine distance les unes des autres. Indépendamment du refroidissement, le contact avec la surface intérieure du conduit (c'est-à-dire le frottement du courant

gazeux sur les parois du conduit) contribue ici également à la séparation des poussières d'avec les fumées.

Un dispositif avec refroidissement indirect par l'eau est représenté par

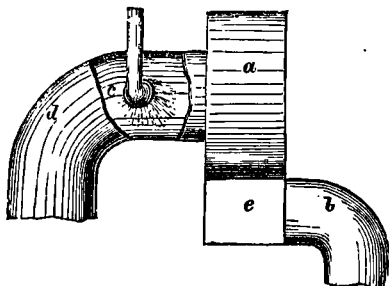


Fig. 538. — Appareil à refroidissement direct par l'eau.

les figures 536 et 537 (appareil de HAGEN, employé à Freiberg pour le refroidissement des gaz contenant de l'acide sulfureux).

Ce dispositif consiste en un canal en plomb laminé, dont les parois

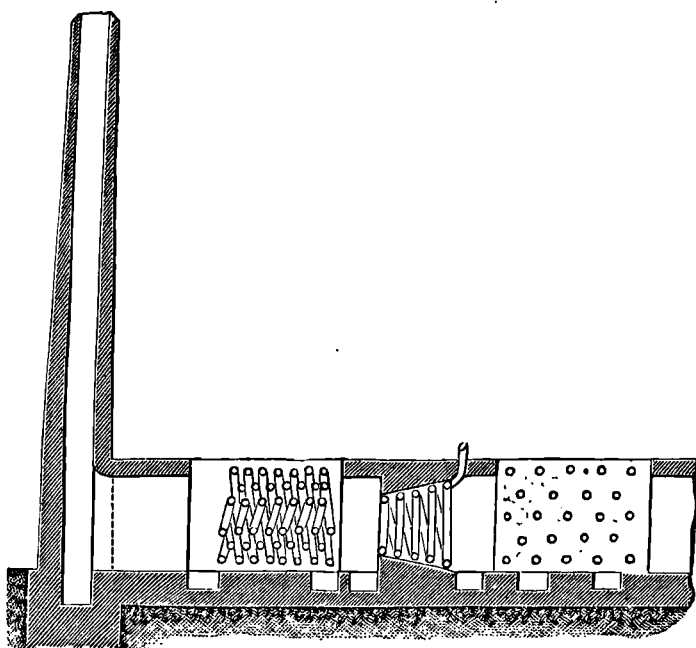


Fig. 539. — Appareil refroidisseur de Schlösser et Ernst, avec circulation d'un liquide froid dans des tubes; coupe longitudinale.

latérales et la couverture sont refroidies par de l'eau. Les parois latérales sont formées de tubes elliptiques *r*, soudés les uns aux autres. La couverture porte une caisse réfrigérante ouverte *k*.

Un dispositif de *refroidissement direct par l'eau* est représenté par la figure 538.

A l'aide du ventilateur *a*, les gaz sont aspirés du tuyau *b* dans la caisse *e* et ensuite refoulés par le même ventilateur dans le tuyau *d*, où ils sont refroidis par de l'eau lancée par la pomme d'arrosoir *c*.

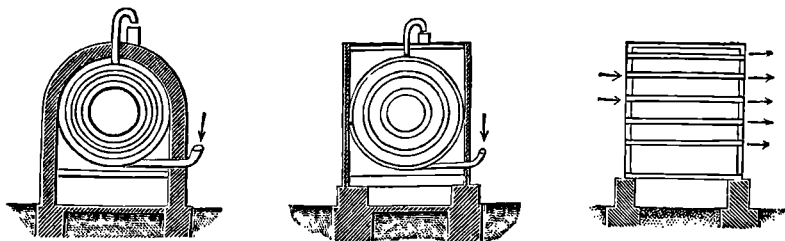


Fig. 540, 541 et 542. — Appareil refroidisseur de Schlösser et Ernst ; coupes transversales.

Le refroidissement des fumées par des objets froids placés dans l'espace où la réfrigération doit avoir lieu, est produit au moyen du dispositif de SCHLÖSSER ET ERNST, représenté par les figures 539 à 542. Ce dispositif se compose de tubes placés dans le canal abducteur des gaz et qui sont courbés de façon à offrir aux vapeurs une surface de contact aussi grande que possible. Un liquide froid circule dans ces tubes.

Un autre dispositif de cette espèce, qui donne de bons résultats, se compose de faisceaux de tubes suspendus dans des tours et refroidis par de l'eau<sup>1</sup>. Un pareil faisceau de tubes est représenté par la figure 543<sup>2</sup>. Il se compose d'un tube central *c* et de six tubes plus étroits *d*. (A la Friedrichshütte, dans la Haute Silésie, le tube central a 42 millimètres de diamètre, les tubes étroits 20 millimètres). La longueur du faisceau tubulaire s'élève à 5 mètres. Les tubes le composant sont reliés entre eux à leurs deux extrémités par des pièces coulées, dont la supérieure repose sur le couvercle de la tour *e*. D'un tuyau de distribution, l'eau de réfrigération arrive par un branchement particulier dans le tube central *c*, tombe dans ce dernier et remonte ensuite par les tubes *d* sur le couvercle de la tour, et après avoir été refroidie elle est remise en circulation. A la Friedrichshütte (Haute Silésie), il y a en suspension dans des tours en maçonnerie 180 faisceaux tubulaires pour les fumées de six fours à cuve et 132 pour celles de deux fours de coupellation. Ici le refroidissement agit concurremment avec le frottement du courant gazeux sur les tubes et les parois des tours.

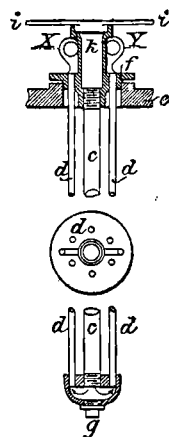


Fig. 543. — Faisceau tubulaire à eau froide pour tour de condensation (Friedrichshütte, Haute Silésie).

<sup>1</sup> Brevet allemand, n° 45 667.

<sup>2</sup> SEGER, *Hygiène der Hüttenarbeiter*, p. 541, Iona 1895.

Le refroidissement *seul* suffit pour la séparation du mercure et du soufre des fumées, dès que celles-ci en contiennent de grandes quantités.

Dans tous les autres cas, les fumées étant ou n'étant pas refroidies, on doit avoir recours aux moyens mentionnés précédemment. L'efficacité de ceux-ci dépend aussi bien de la nature des masses à condenser que de la nature et de la quantité des fumées desquelles ces masses doivent être éliminées.

### Filtration.

La filtration des fumées peut être effectuée avec ou sans le concours de l'eau.

Par la *filtration sèche*, on retient dans les fours à cuve une partie des poussières et des vapeurs métalliques. Elle est en outre employée pour la

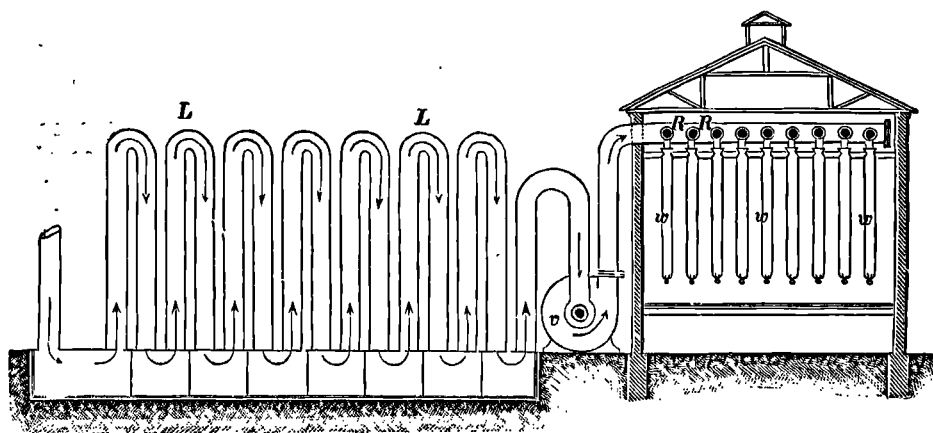


Fig. 544. — Filtre à fumées de Lewis.

condensation des fumées de plomb et la précipitation de l'oxyde de zinc (blanc de zinc).

Lorsqu'on emploie des fours à cuve travaillant avec gueulard froid, les couches de lit de fusion et de combustible qui se trouvent à leur partie supérieure forment le filtre. Comme ces couches sont relativement froides, une partie des vapeurs métalliques s'y condense et en même temps une partie des poussières y est retenue. Ces corps sont ramenés par les charges qui descendent dans la partie inférieure du four. Les parties des poussières et des vapeurs métalliques non retenues dans les filtres sont séparées par les moyens indiqués précédemment.

BIEWEND et la SOCIÉTÉ POUR L'INDUSTRIE DU ZINC<sup>1</sup>, à Oberhausen, proposent pour la condensation des vapeurs de zinc des chambres en maçonnerie remplies de fragments de différentes matières (charbon de bois, coke, quartz, pierre ponce, etc.) et dans lesquelles le trajet que doivent parcourir les gaz est allongé au moyen de cloisons. En vue du refroidissement, les chambres sont entourées de doubles parois en fer, dans l'intervalle

<sup>1</sup> Brevet allemand n° 91896.

desquelles circule de l'eau ou de l'air. Au moyen d'un dispositif particulier, les gaz peuvent être dirigés dans deux chambres juxtaposées, de façon qu'ils les traversent tantôt dans une direction, tantôt dans la direction opposée. On maintiendrait ainsi une température uniforme et on éviterait en même temps la formation de zinc pulvérulent. Si les vapeurs de zinc sont très diluées par d'autres gaz, on n'obtient pas de zinc liquide, mais de la poussière de zinc.

Le *filtre à fumées de LEWIS*, qui est représenté par la figure 544, sert pour séparer des fumées le blanc de zinc, quel-

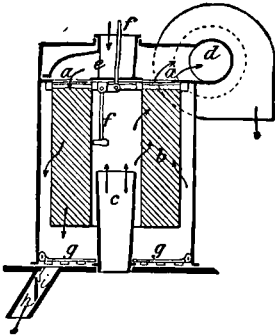


Fig. 545. — Filtre à fumées de la Friedrichshütte; coupe verticale.

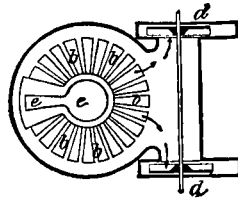


Fig. 546. — Filtre à fumées de la Friedrichshütte; coupe horizontale.

quefois aussi des éléments plombifères. Des sacs en laine constituent le filtre. L, L est un dispositif pour le refroidissement des fumées au moyen de l'air; *v* est un ventilateur, qui refoule les fumées dans le tube hori-

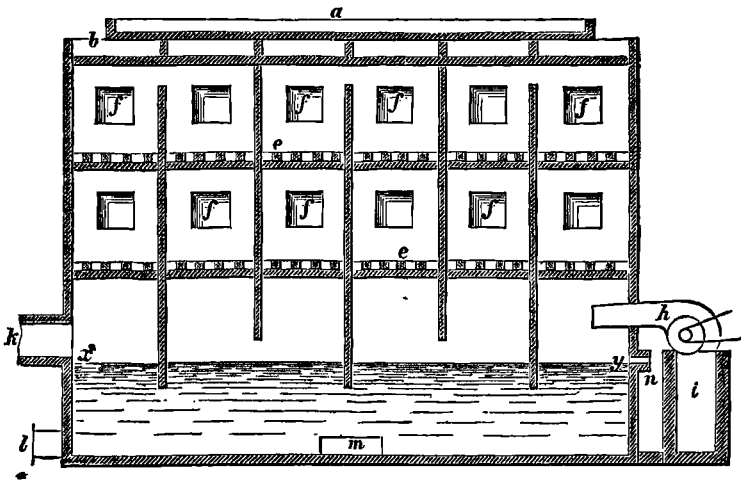


Fig. 547. — Dispositif pour la condensation des fumées de plomb.

zontal R, de chaque côté duquel sont suspendus des sacs de laine *w, w*. Les corps solides restent dans les sacs, tandis que les gaz passent à travers les pores de ces derniers. Au-dessous des sacs sont disposés des entonnoirs en tôle, au moyen desquels la poussière peut être vidée dans des tonneaux.

Les corps solides seraient retenus assez complètement dans ces filtres. Pour condenser la fumée de plomb, qui n'existe qu'en quantité relativement faible dans de grandes quantités de gaz, leur installation et leur entretien sont trop coûteux.

Les figures 545 et 546 représentent un appareil à filtration qui est

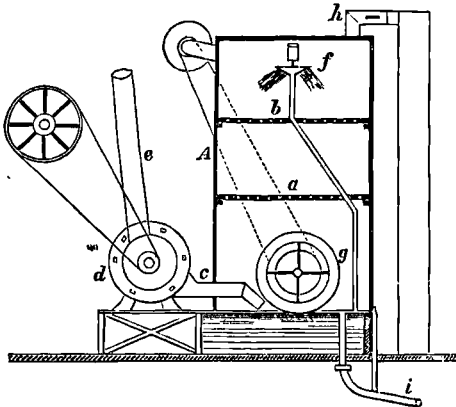


Fig. 548. — Appareil de Griffith pour la filtration des fumées; coupe transversale.

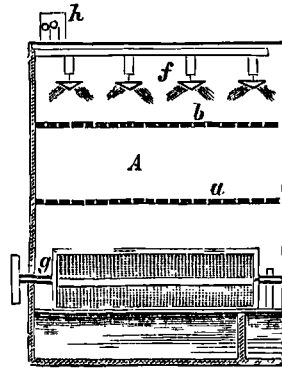


Fig. 549. — Appareil de Griffith pour la filtration des fumées; coupe longitudinale.

employé à la *Friedrichshütte*. Les fumées plombifères des fours de couplation sont dirigées dans cet appareil, après avoir été préalablement refroidies par des faisceaux de tubes réfrigérants et avoir ensuite traversé

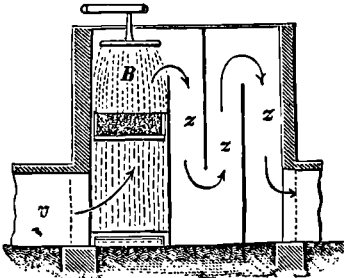


Fig. 550.

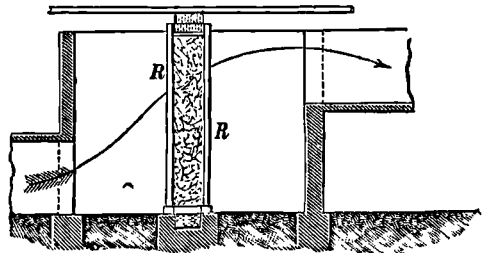


Fig. 551.

Fig. 550. — Filtre en briques.

Fig. 551. — Filtre vertical.

une chambre, dans laquelle sont suspendues des toiles de fer. L'appareil consiste en un certain nombre de cellules filtrantes en flanelle *b*, disposées radialement. Le dispositif formé par l'ensemble de ces cellules est suspendu dans une boîte en tôle (de 2 mètres de hauteur et 1,7 mètre de diamètre). Les fumées arrivent par le tuyau *c*, pénètrent dans les intervalles qui existent entre les cellules et ensuite à l'intérieur de celles-ci par leurs parois en flanelle, en abandonnant sur la face externe de ces dernières les éléments solides qu'elles renferment. La fumée filtrée monte dans les cel-

lules et de celles-ci elle passe, par des ouvertures et des fentes ménagées dans la cloison *a*, dans la partie supérieure de la boîte, de laquelle elle est aspirée par deux exhaussateurs *d* et refoulée dans le canal conduisant à la cheminée. L'élimination des poussières restées sur les parois des

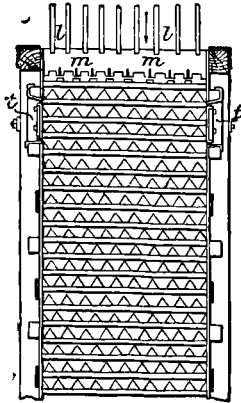


Fig. 552. — Tour en plomb pour le lavage des fumées ; coupe longitudinale.

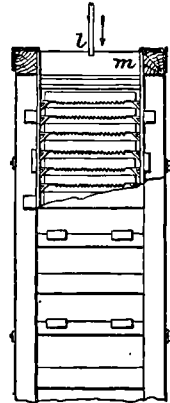


Fig. 553. — Tour en plomb pour le lavage des fumées ; coupe transversale.

cellules a lieu automatiquement au moyen d'un courant d'air ; un battoir *f* contribue aussi à cette élimination. Les poussières rassemblées sur le fond de la boîte sont amenées, au moyen de l'agitateur *g*, dans le tube *h*, duquel elles tombent dans une caisse.

Dans les usines à mercure, on a employé pendant un certain temps des filtres qui contenaient comme matière filtrante des copeaux de rabot.

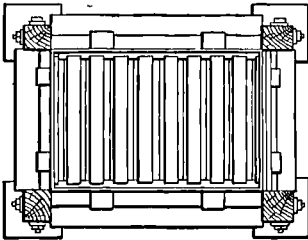


Fig. 554. — Tour en plomb pour le lavage des fumées ; coupe horizontale.

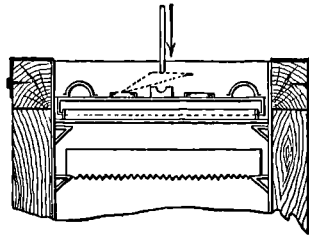


Fig. 555. — Tour en plomb pour le lavage des fumées ; distribution de l'eau au sommet de la tour.

Lorsqu'on a recours à l'eau, le filtre proprement dit se compose de menus branchages, d'ajoncs, de coke, de pierres ou seulement de tamis.

La figure 547 représente un dispositif pour la *condensation des fumées de plomb*. Sur les grilles *e*, *e* reposent de menus branchages. Les vapeurs sont refoulées par le ventilateur *h* dans le dispositif. Celui-ci est partagé au moyen de cloisons verticales en différents compartiments, de façon que le courant gazeux soit forcé de traverser le filtre en direction ascen-

dante et descendante. Du réservoir *a*, s'écoule de l'eau qui arrose les filtres et se ressemble ensuite sur le fond du dispositif. Les gaz s'échappent par le tuyau *k*. Les ouvertures *f* servent pour vider les différents compartiments.

Dans le dispositif de GRIFFITH, qui est représenté par les figures 548 et 549, on ne se sert comme filtres que des tamis *a* et *b*, qui, au moyen des pommes d'arrosoir *f*, sont arrosés avec de l'eau. En outre, les vapeurs sont encore lavées avec de l'eau lancée par la roue *g*. Les gaz sont introduits par le ventilateur *d* et ils sortent par le tube *h*.

La figure 550 montre un *filtre en briques*, qui repose sur une grille. Il est arrosé avec de l'eau au moyen de la pomme B. Les gaz entrent en *v*. Les corps de la fumée non recueillis dans le filtre sont précipités dans les chambres *z*, *z*.

La figure 551 représente un *filtre vertical*. Il se compose de coke, de pierres ou de branchages, qui sont maintenus par des grilles verticales R, R.

Les appareils de filtration ont l'inconvénient d'exiger des ventilateurs pour y refouler les fumées ; en outre, ils ont besoin d'un fréquent nettoyage et, lorsque la filtration a lieu avec le concours de l'eau, il est nécessaire d'élever celle-ci sur les chambres renfermant les filtres. Les fumées des fours à réverbère, qui ne contiennent que de faibles quantités de poussières et de vapeurs, mais de très grandes quantités de gaz, exigent en outre de très grandes surfaces filtrantes.

#### *Lavage des fumées.*

Le lavage des fumées consiste à exposer celles-ci à une pluie d'eau ou à les refouler à travers de l'eau. L'eau retient les corps solides contenus dans les fumées.

A Freiberg et à Friederickshütte, les fumées acides sont lavées dans des tours en plomb garnies de petits toits en plomb à bords finement dentelés, comme celles qui sont employées pour la précipitation de l'arsenic de l'acide sulfurique au moyen de l'hydrogène sulfuré. Ce dispositif est mis en évidence par les figures 552 à 555. De l'eau ruisselle sur les toits en plomb. L'eau et le contact avec des surfaces agissent ici concurremment pour amener la précipitation des poussières. A Friederickshütte, dans la Haute Silésie, les tours en plomb sont hautes de 7 mètres et ont une section horizontale de  $2 \times 3$  mètres. Dans chaque tour il y a 90 toits en plomb ayant chacun 3 mètres de longueur et 20 centimètres de hauteur. On a aussi fait passer les fumées à travers l'eau au moyen de roues à godets ou autres dispositifs. On les a également aspirées ou refoulées à travers l'eau.

#### *Séparation des poussières par contact des fumées avec des surfaces.*

La mise en contact des fumées avec des surfaces est un moyen très actif et fréquemment employé pour l'élimination des corps solides contenus dans les fumées. Ce moyen n'est que peu efficace avec les fumées *chaudes*, il a au contraire une grande action avec les fumées *refroidies*.



Si les fumées ne sont pas soumises à un refroidissement préalable, les dispositifs employés dans cette méthode de séparation doivent être établis aussi loin que possible des fours desquels s'échappent les fumées. Les surfaces sont offertes par des plaques minces de tôle de fer où, si la tem-

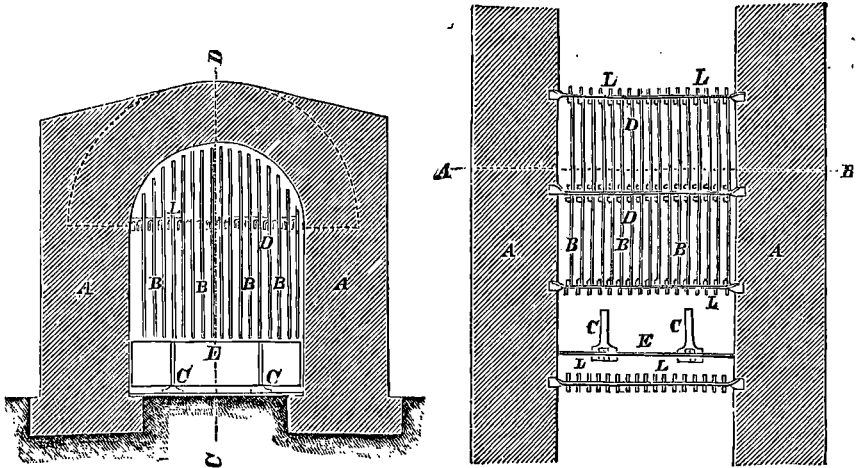


Fig. 556 et 557. — Dispositif de Freudenberg pour la séparation des poussières des fumées.

pérature des fumées est peu élevée, par des plaques de carton. Afin de ne pas empêcher le tirage, les plaques sont disposées parallèlement à la direction de ce dernier dans des canaux ou des chambres. Bien que les

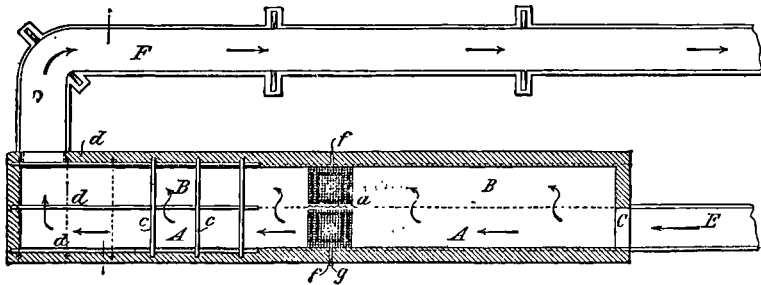


Fig. 558. — Chambre à poussières de Rösing; plan.

corps solides précipités puissent se rassembler sur le fond des canaux ou des chambres, les plaques sont placées verticalement ou dans une position fortement inclinée. Afin d'empêcher les poussières déposées d'être entraînées par le tirage, on établit sur la sole des canaux ou des chambres à certaines distances (de 5 à 6 mètres) des cloisons transversales, consistant en murs peu élevés ou en plaques de fer. Les figures 556 et 557 représentent un pareil dispositif, tel qu'il a été indiqué par FREUDENBERG.

Au lieu de plaques, on suspend aussi dans les canaux des fils et des

baguettes métalliques. A Friederickshütte, dans la Haute Silésie, on emploie avec succès des fils métalliques. Un dispositif indiqué par Rösing est représenté par les figures 558 et 559<sup>4</sup>. D'un canal E, les fumées arrivent dans une chambre (de 20 mètres de longueur, 2,8 mètres de largeur et 5 mètres de hauteur) contenant les fils et qui, au moyen d'une cloison *a* en tôle ondulée (de 4,70 mètres de hauteur), est partagée suivant sa longueur en deux moitiés A et B (de 1,40 mètre de largeur). Ces deux moitiés communiquent ensemble par une fente (de 20 centimètres de hauteur) s'étendant au-dessous de la couverture. *d, d, d* sont des supports longitudinaux, auxquels est fixé, au moyen de pattes, au-dessous de la voûte tout entière de la chambre une toile métallique *e*. A chacune des mailles (2 centimètres de

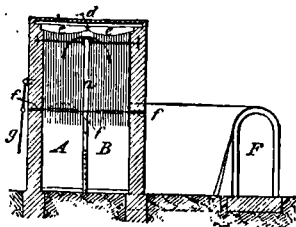


Fig. 559. — Chambre à poussière de Rösing; coupe transversale.

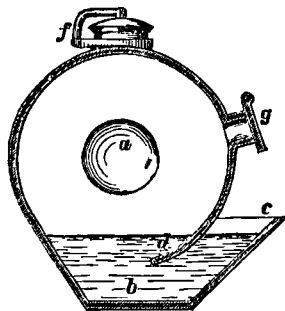


Fig. 560. — Appareil lorrain.

côté) de cette toile est suspendu un fil de fer de 3 mètres de longueur et 4 millimètres de diamètre. Dans la chambre ayant les dimensions indiquées plus haut sont ainsi suspendus 140 000 fils avec une surface totale de 5 278 mètres carrés. Du canal E, les gaz passent dans une moitié A de la chambre, y montent en se mettant en contact avec les fils qu'elle renferme et arrivent par la fente mentionnée précédemment dans la deuxième moitié B de la chambre, où ils descendent en se mettant en contact avec les fils, et ils sortent par le canal F. Les canaux E et F sont en tôle de fer galvanisée. Pour faire tomber les poussières restées adhérentes aux fils, on secoue ces derniers à l'aide de *g* et de la tige *f*; les poussières se rassemblent sur le fond de la chambre.

#### *Diminution de la vitesse du courant gazeux.*

La diminution de la vitesse du courant gazeux favorise le dépôt des particules solides contenues dans ce dernier. On arrive à produire cette diminution en dirigeant les gaz dans de larges chambres (chambres à poussières) ou canaux et ne les faisant passer dans la cheminée qu'après qu'ils ont traversé ces chambres ou ces canaux. La séparation des éléments solides atteint son maximum, lorsqu'on fait subir un temps d'arrêt au courant des fumées. Mais la diminution de la vitesse du tirage *seule*

<sup>4</sup> SÆGER, *loc. cit.*, p. 544.

est loin d'être aussi efficace que le contact avec des surfaces. C'est pour cette raison que de *grandes chambres* sont beaucoup moins actives que des *canaux étroits*, dans lesquels une grande surface de contact est offerte aux fumées. En général, la quantité des poussières précipitées des fumées ne dépend pas de la *capacité* des chambres et des canaux, mais de leur *surface*. C'est pour cela qu'on combine la diminution de la vitesse du tirage aussi bien avec l'action du contact de surfaces qu'avec d'autres modes de séparation.

Un dispositif, dans lequel la diminution de la vitesse du tirage est combinée avec le refroidissement, est représenté par la figure 560. Ce dispositif, désigné sous le nom d'*appareil lorrain*, est fréquemment employé pour séparer la poussière des gaz des hauts fourneaux. L'appareil est en tôle de fer. Sur un côté, son fond est ouvert et recourbé supérieurement, de façon que l'on puisse y introduire des outils et en retirer les poussières précipitées. Le refroidissement est produit, partie par l'air entourant le tube, partie par l'eau qui se trouve sur son fond. Celle-ci forme en même temps une fermeture imperméable aux gaz. Ces derniers pénètrent dans le tube par l'ouverture *a* et en sortent par une ouverture semblable placée à l'extrémité opposée.

#### *Changement de la direction du courant des fumées.*

En changeant subitement la direction du courant des fumées, on favorise également la séparation des particules solides renfermées dans celles-ci. Ce moyen, qui a été employé pour la première fois il y a déjà bien longtemps, est d'autant plus efficace que les gaz sont moins chauds. Les dispositifs usités pour sa mise en pratique sont des canaux disposés en zig-zag, ou des chambres partagées, au moyen de languettes en maçonnerie, en différents compartiments, qui forcent le courant des fumées à changer plusieurs fois sa direction. On nomme de pareilles chambres, *chambres à poussières*.

Les anciens dispositifs de cette espèce étaient établis immédiatement au-dessus des fours.

Avec les *fours à cuve*, ils ne donnaient de bons résultats que lorsque les fumées étaient froides. Avec les fours à cuve avec gueulard clair, comme les fours fonctionnaient le plus souvent autrefois, les chambres à poussières étaient très chaudes et par suite de cela augmentaient le tirage de telle sorte qu'il ne pouvait s'y séparer qu'une très faible quantité de poussières. De pareilles chambres à poussières au-dessus des fours, dont la disposition pour les *anciens fours à plomb du Harz Supérieur* est mise en évidence par la figure 561, ne sont plus actuellement construites. La direction du courant gazeux est indiqué par des flèches.

Dans ces dispositifs, agissent aussi, outre le changement de la direction du courant gazeux, la diminution de la vitesse du tirage et le contact des fumées avec les parois des chambres.

Avec les *fours à reverbère*, l'établissement immédiatement au-dessus d'eux de chambres à poussières ne saurait être convenable, parce que pour le maintien du tirage dans ces fours les fumées ne doivent pas être

refroidies, et alors il ne peut se déposer dans les chambres que de faibles quantités de poussières.

Les nouveaux dispositifs ne sont plus établis immédiatement au-dessus des fours et ils offrent une étendue beaucoup plus grande que les anciens. Dans ces dispositifs agissent, indépendamment du changement de la direction du courant des fumées, le refroidissement et la diminution de sa vitesse.

La figure 562 représente un dispositif pour recueillir l'acide arsénieux

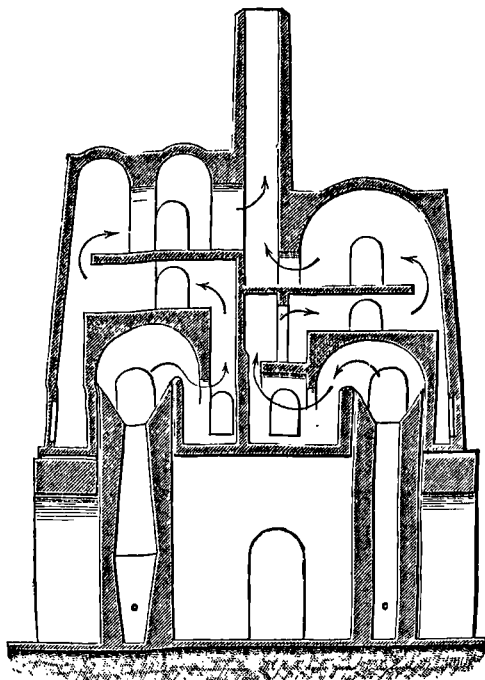


Fig. 561. — Ancien four à plomb du Harz Supérieur avec chambres à poussières.

(dit *collecteur de poison*), lequel se compose d'un canal *k* en zig-zag partant du four de grillage *v* et qui débouche dans la chambre à poussières *z*, de laquelle les gaz passent dans la chambre *y* et ensuite dans la cheminée *E*. La majeure partie de l'acide arsénieux se dépose dans les angles du canal. L'action de ce dispositif est imparfaite, parce que le courant des fumées n'est que peu refroidi et que la vitesse du tirage n'est amoindrie qu'à un faible degré.

Un *dispositif composé de canaux recourbés à angle droit*, tel qu'il est employé à Freiberg pour la condensation des fumées contenant de l'arsenic et du plomb, est représenté par la figure 563. Le canal est en plomb laminé et repose sur des pieds en maçonnerie. Par suite du refroidissement de la fumée par le plomb, ce dispositif donne de bons résultats.

Un dispositif, dit *tour à poison*, également employé pour la précipitation de l'acide arsénieux, se compose, comme le montre la figure 564, d'une

séries de chambres superposées et juxtaposées, que traversent l'une après

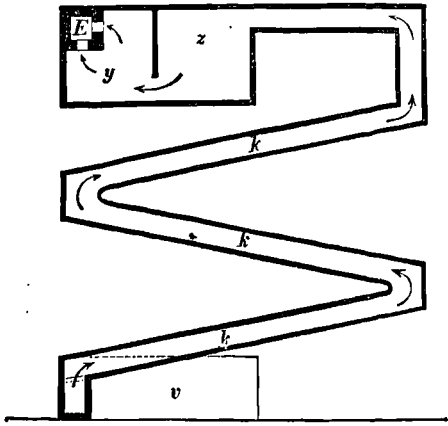


Fig. 562.

Fig. 562. — Canal et chambre à poussières pour recueillir l'acide arsénieux.

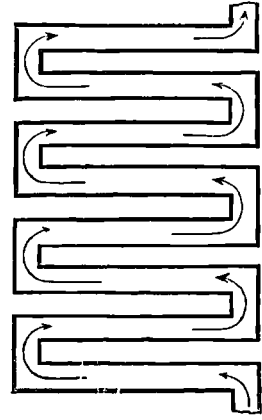


Fig. 563.

Fig. 563. — Dispositif de Freiberg pour la condensation des fumées arsénifères et plombifères.

l'autre les fumées, en pénétrant dans la tour par la série inférieure ; chan-

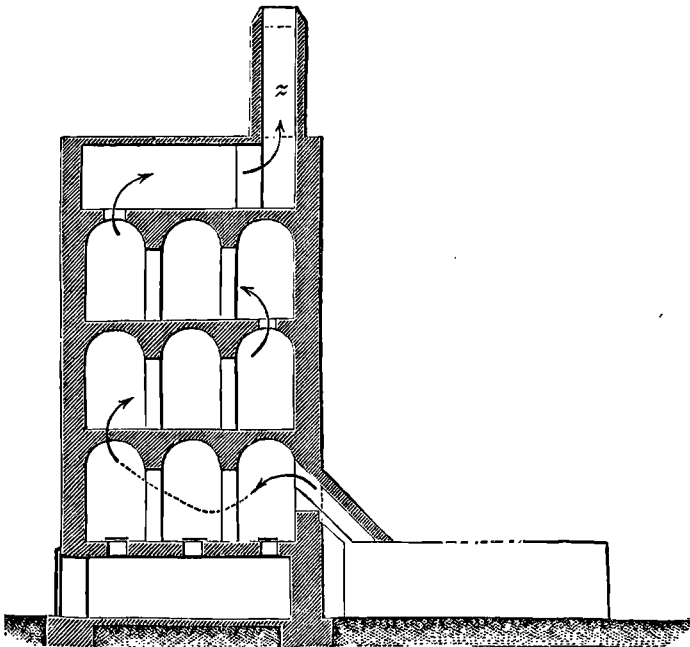


Fig. 564. — Tour de condensation pour l'acide arsénieux (tour à poison).

geant de direction à l'extrémité de chaque étage, le courant arrive finale

ment à la partie supérieure de la tour, d'où il pénètre dans la cheminée,

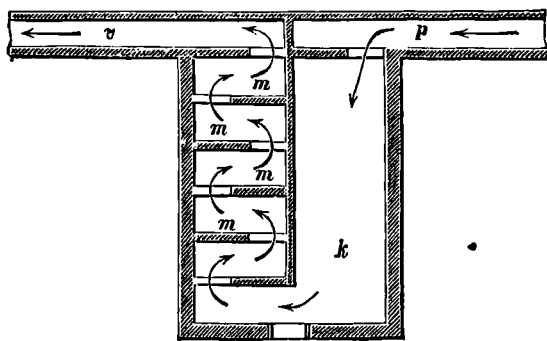


Fig. 565. — Appareil de Freiberg pour la précipitation des poussières des fumées des fours à cuve; plan.

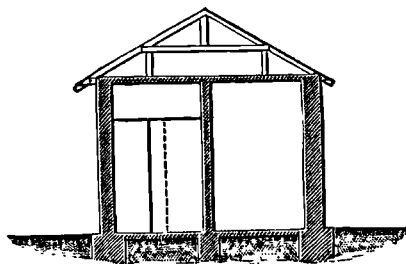


Fig. 566. — Appareil de Freiberg pour la précipitation des poussières des fumées des fours à cuve; coupe transversale.

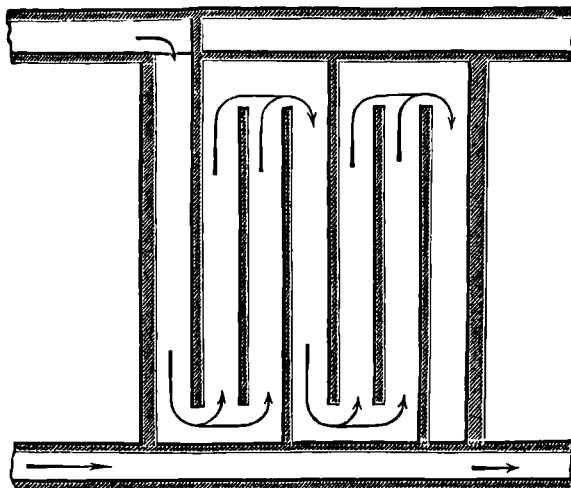


Fig. 567. — Dispositif pour la précipitation des poussières des fumées des fours à réverbère; plan.

Ce dispositif, dans lequel agit aussi, indépendamment du changement

de direction du courant, la diminution de la vitesse de ce dernier, n'est efficace que lorsque les fumées sont suffisamment refroidies.

Le *dispositif de Freiberg* pour la précipitation des poussières des

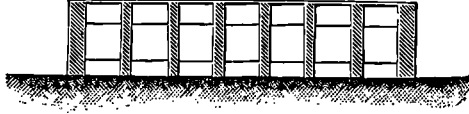


Fig. 568. — Dispositif pour la précipitation des poussières des fumées des fours à réverbère ; coupe transversale.

fumées des fours à cuve, dans lequel, indépendamment du changement de la direction du courant gazeux, est également utilisée la diminution de la

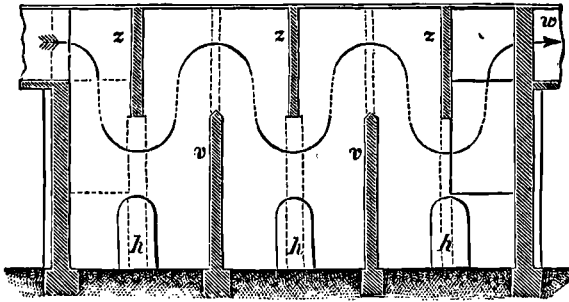


Fig. 569. — Dispositif d'Héring ; coupe longitudinale.

vitesse de ce dernier, est représenté par les figures 565 et 566. Les fumées se rendent d'abord par le canal  $p$  dans la chambre  $k$  et de celle-ci elles passent dans une deuxième chambre divisée en différents compartiments par des languettes en maçonnerie  $m$  ; dans cette dernière chambre, par suite du changement de la direction du courant gazeux et de son contact avec les parois des différents compartiments, la majeure partie des poussières se dépose. Les fumées passent ensuite dans le canal  $v$  et de ce dernier dans la cheminée.

Le *dispositif pour la précipitation des poussières des fumées des fours à réverbère* est représenté par les figures 567 et 568. Le courant des fumées, dont la direction est indiquée par des flèches, est divisé plusieurs fois par des languettes en maçonnerie, de façon qu'agissent ici également la diminution de la vitesse du courant et le contact de ce dernier avec les surfaces offertes par le dispositif.

La figure 288 (p. 423) montre un *dispositif pour la condensation des vapeurs de mercure*, qui a été indiqué par CZERMAK. Ce dispositif se com-

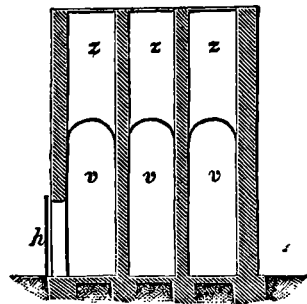


Fig. 570. — Dispositif d'Héring ; coupe transversale.

pose d'un système de tubes en grès à deux branches J, refroidi par de l'eau, dans lequel le courant gazeux est forcé de monter et de descendre. Comme il réalise à la fois le refroidissement, le contact avec des surfaces et le changement de direction du courant, il agit très favorablement. Mais

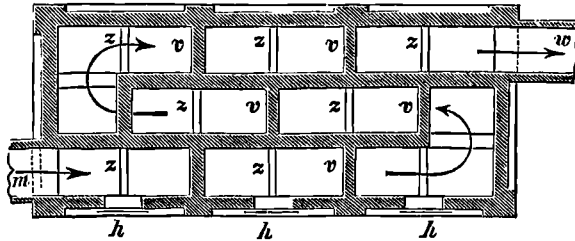


Fig. 571. — Dispositif d'Héring; coupe horizontale.

ici la vapeur n'est pas constituée par des fumées proprement dites, c'est le produit du procédé de vaporisation employé pour l'extraction du mercure du cinabre.

HERING a indiqué un dispositif, dans lequel le courant gazeux a égale-

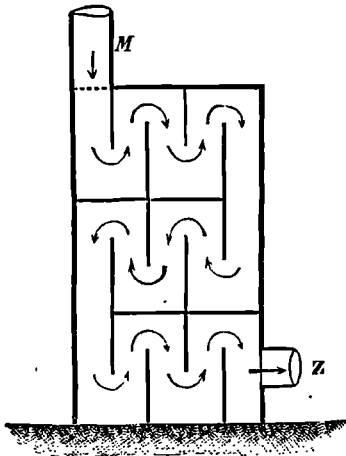


Fig. 572.

Fig. 572. — Dispositif de Schrader et Macco pour la séparation des poussières des gaz des hauts fourneaux à fer; coupe longitudinale.

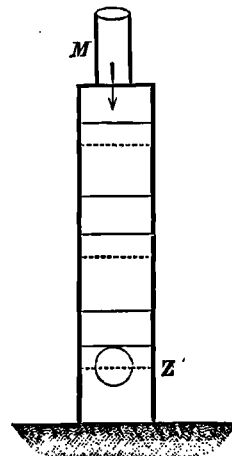


Fig. 573.

Fig. 573. — Dispositif de Schrader et Macco; coupe transversale.

ment une direction ascendante et descendante. Indépendamment du changement de la direction du courant, le contact de celui-ci avec des surfaces et une forte diminution de la vitesse font aussi sentir leur action.

Comme le montrent les figures 569 à 571, ce dispositif consiste en un canal étroit et élevé, qui au moyen des languettes *v* et des rideaux *z* en maçonnerie, est divisé de façon que le courant gazeux entrant par *m* soit forcé de se mouvoir alternativement de bas en haut et de haut en bas.



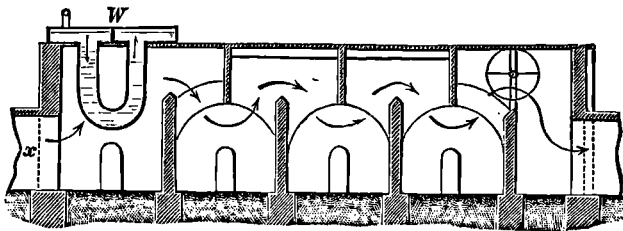
Les particules des poussières tombent alors dans les cellules formées par les languettes et, les gaz y étant au repos, elles se déposent sur leur fond, d'où elles peuvent être retirées par les portes  $h, h$ .

Ce dispositif doit être très efficace. Si les fumées renferment des vapeurs métalliques, un refroidissement préalable est nécessaire.

Un dispositif reposant sur le même principe a été indiqué par SCHRADER et MACCO<sup>1</sup> pour la séparation des poussières des gaz de gueulard des hauts fourneaux à fer. Comme le montrent les figures 572 et 573, il a plusieurs étages. Les gaz entrent en M, traversent le dispositif suivant la direction indiquée par les flèches et sortent en Z.

*Emploi de plusieurs moyens de séparation.*

Comme on l'a déjà dit, pour que la séparation des matières solides des fumées puisse donner des résultats seulement tant soit peu satisfaisants,



574. — Dispositif mixte d'Héring pour la séparation des corps solides des fumées coupe longitudinale.

il est nécessaire d'employer plusieurs des moyens de séparation indiqués précédemment.

Un dispositif basé sur la réunion du refroidissement, du contact avec

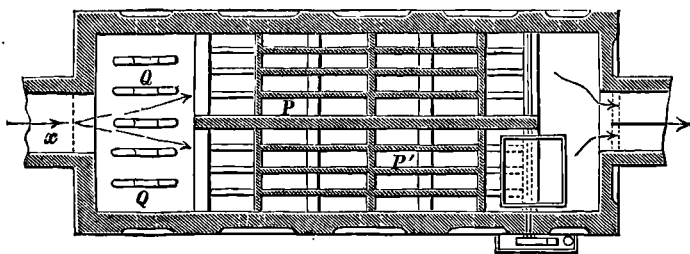


Fig. 575. — Dispositif mixte d'Héring; coupe horizontale.

des surfaces, du changement de la direction et de la modification subite de la vitesse du courant gazeux a été indiqué par HERING<sup>2</sup> et est représenté par les figures 574 à 576.

<sup>1</sup> Brevet allemand n° 28 003.

<sup>2</sup> Brevet allemand n° 38775, du 14 mai 1886.

Il se compose de deux canaux principaux P et P', dont chacun est muni du côté de l'entrée des gaz d'un appareil de réfrigération et est pourvu du côté de la sortie de ces derniers, dans la direction de la cheminée, d'un appareil de fermeture. Du reste, la disposition est la même que dans l'autre appareil d'HERING décrit précédemment. Dans ce dispositif, les gaz sont refroidis avant leur entrée dans les canaux parallèles; ils sont ensuite disséminés dans les différents canaux, qu'ils traversent en direction ascendante et descendante, de façon à se mettre en contact avec une surface aussi grande que possible, et de temps en temps, alternativement dans les deux canaux, le courant est amené au repos par la fermeture de l'un ou de l'autre de ces derniers; les gaz laissent alors précipiter les particules solides qu'ils renferment et sont ensuite dirigés dans la cheminée. Le courant est ainsi en quelque sorte arrêté par portions successives. Les fumées pénètrent par  $\alpha$  dans le compartiment où a lieu leur refroidissement, qui est produit au moyen d'un tuyau en fer Q, offrant une grande surface et dans lequel circule de l'eau froide. Sur la couverture du dispositif se trouve une caisse partagée en deux compartiments par la cloison W. L'eau froide arrive dans l'un de ces

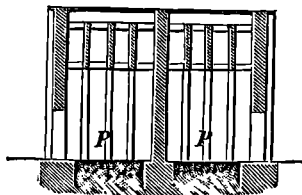


Fig. 576. — Dispositif mixte d'Herings; coupe transversale.

compartiments, elle tombe dans une des moitiés du tube réfrigérant, monte dans l'autre moitié et ensuite dans le second compartiment de la caisse. La fumée refroidie passe dans l'un des canaux parallèles. Ce dernier est fermé dès que les fumées sont arrivées à son extrémité, tandis qu'en même temps l'autre canal, qui était fermé, est ouvert. La fermeture des canaux est maintenue pendant le temps qu'il faut à la fumée pour se rendre de l'entrée du canal à la sortie. Pendant ce temps, les fumées laissent se précipiter dans ce dernier les particules solides qu'elles tenaient en suspension. Dès que le canal est rouvert, les fumées passent dans la cheminée. En même temps, le deuxième canal est refermé et ainsi de suite.

On emploie pour la fermeture des canaux des clapets ou des valves.

Ce dispositif a, sur les canaux et les chambres à poussières ordinaires, l'avantage de n'exiger que peu d'espace et en outre il peut être établi à peu de frais.

#### *Emploi de l'électricité.*

On a employé à titre d'essai l'étincelle électrique pour la séparation des particules solides des fumées. Dans des espaces clos, son action s'est montrée très favorable; avec des fumées en mouvement, au contraire, on a constaté dans les expériences effectuées dans des usines à plomb anglaises (Bagillt) et à Friederickshütte, dans la Haute Silésie, que l'étincelle électrique était très peu efficace.

Enfin, disons aussi que de fortes secousses, comme les coups de feu, des coups de foudre, des coups de timbales, favorisent la précipitation des corps solides des fumées.

D'après ce qui vient d'être dit dans les pages précédentes, les disposi-

tifs les moins coûteux et en même temps aussi les plus efficaces pour la séparation des corps solides contenus dans les fumées sont les espaces qui, étant en communication avec une cheminée, offrent de grandes surfaces de contact au courant gazeux et dans lesquels la vitesse de ce dernier est ralentie. Si les fumées sont très chaudes, elles doivent être soumises à un refroidissement préalable par les moyens indiqués précédemment. Le refroidissement doit être d'autant plus grand et les surfaces de contact d'autant plus étendues que les substances contenues dans les fumées sont plus difficilement condensables. Comme l'a proposé HERING, il faut dans les régions montagneuses placer la cheminée sur une haute montagne et à côté d'elle la chambre à poussières. Avec les fours qui fournissent de grandes quantités de poussières, il faut en outre établir derrière le four une deuxième chambre à poussières plus petite, parce que l'expérience a appris que, dans ces cas, la plus grande partie des poussières se précipite dans le voisinage du four.

β. — DISPOSITIFS POUR RECUEILLIR OU RENDRE INOFFENSIFS LES GAZ ACIDES  
ET LE CHLORE

Parmi les gaz acides, les plus importants sont l'acide sulfureux, l'acide sulfurique à l'état de vapeur et l'acide chlorhydrique.

L'acide sulfureux se dégage surtout lors du grillage de sulfures métalliques et de l'extraction du plomb et du cuivre par fusion avec réaction. On peut le rendre inoffensif et en même temps l'utiliser ou bien le rendre inoffensif sans utilisation simultanée.

*Procédés pour rendre inoffensif et en même temps utiliser l'acide sulfureux.*

Si les fumées sont assez riches en acide sulfureux pour qu'il semble avantageux de les employer pour fabriquer de l'acide sulfurique — elles doivent alors contenir au moins 4 volumes p. 100 d'acide sulfureux — on les traite pour cet acide, après en avoir préalablement séparé les poussières. Elles peuvent être traitées aussi bien pour acide des chambres, dans des chambres de plomb, que pour acide sulfurique concentré ou anhydride sulfurique par la méthode de contact. Le moyen employé pour rendre inoffensif l'acide sulfurique n'est alors rien autre chose que la fabrication d'acide sulfurique, et les *dispositifs nécessaires ne se distinguent en rien de ceux qui sont en usage pour la production de l'acide sulfurique des chambres ou de l'acide sulfurique par contact*. Une grande partie de l'acide sulfurique des chambres, l'acide sulfurique métallurgique, est actuellement préparé avec les fumées d'usines.

On n'obtient par voie sèche des fumées convenables pour la fabrication de l'acide sulfurique que dans des fours à cuve ou à moules, et, lorsqu'on se sert de fours à cuve, seulement dans ceux où la combustion du soufre fournit la chaleur nécessaire pour le grillage. Les fumées des fours à réverbère, qui contiennent, outre l'acide sulfureux, des gaz de combustion de combustibles carbonisés ou crus ne peuvent pas convenir pour

la fabrication de l'acide sulfurique, à cause de leur teneur relativement faible en acide sulfureux (moins de 2 vol. p. 100), et aussi à cause de l'action nuisible des gaz de la combustion sur les oxydes de l'azote. On est parvenu dans ces derniers temps à griller dans des fours à moufles (fours de LIEBIG-EICHHORN, d'HASENGLÉVER) avec une dépense relativement faible des sulfures métalliques, qui, comme la blende et la pyrite cuivreuse pulvérulente, n'étaient autrefois grillés que dans des fours à réverbère, et l'on a ainsi obtenu des gaz tout à fait convenables pour la fabrication de l'acide sulfurique.

La préparation de l'*anhydride sulfurique* a été introduite pour la première fois par WINKLER à la Mülden-Hütte, près Freiberg. On desséchait d'abord les fumées (gaz résultant du grillage de minerais pyriteux de plomb et d'argent), en les faisant monter dans des tours, dans lesquelles tombait une pluie d'acide sulfurique concentré, et on les dirigeait ensuite dans des vases clos chauffés, renfermant de l'amiante platiné. Par suite de l'action du contact avec ce dernier, il se formait aux dépens de l'acide sulfureux et de l'oxygène de l'anhydride sulfurique. Les fumées chargées d'anhydride étaient ensuite dirigées dans des tours, où tombait une pluie d'acide sulfurique concentré, qui absorbait l'anhydride. Du liquide obtenu, l'anhydride était séparé par distillation. Les fumées sortant des tours d'absorption, contenant encore de l'acide sulfureux, étaient envoyées dans des chambres de plomb avec les gaz de grillage destinés à la fabrication d'acide sulfurique.

Avec ce procédé, la moitié tout au plus de l'acide sulfureux contenu dans les gaz de grillage était transformée en anhydride.

En maintenant une certaine température dans les appareils de contact, en purifiant avec soin les gaz de grillage de tous les éléments nuisibles à la réaction, ainsi qu'en disposant convenablement les appareils de contact et employant des substances de contact bien appropriées, on est parvenu dans ces derniers temps à transformer en anhydride plus de 95 p. 100 de l'acide sulfureux contenu dans les gaz de grillage. Le mouvement des gaz est produit au moyen de dispositifs aspirants ou foulants. Les usages de l'anhydride étant assez restreints, on prépare surtout de l'acide sulfurique concentré marquant 66° B. au plus. La fabrication de l'acide des chambres par le procédé de contact est plus coûteuse que par celui des chambres. Avec les gaz de grillage de pyrites et de blendes, on fabrique dans un certain nombre d'usines de l'acide sulfurique à haut degré (à partir de 66° B.) par le procédé de contact. On construit aussi en ce moment (au Chili) une usine pour l'utilisation des gaz fournis par le grillage des mattes cuivreuses dans des moufles. Comme substance de contact, on emploie du platine finement divisé ou, comme à Freiberg, de l'amiante platiné. — La *Société pour l'Industrie du zinc* (autrefois W. GRILLO et SCHNÖDER<sup>1</sup>) se sert comme support du platine de sels solubles des alcalis, des terres alcalines et des métaux. Pour préparer les substances de contact, on mélange ensemble des solutions aqueuses des sels en question et d'un sel de platine, on évapore le liquide obtenu, on dessèche les croûtes cristallines ainsi formées et ensuite on les pulvérise

<sup>1</sup> Brevet allemand n° 102 244.

de façon à les réduire à une grosseur de grain à peu près uniforme. La poudre ainsi obtenue est redissoute dans l'eau et traitée comme précédemment, jusqu'à ce que toute la matière soit transformée en fragments ou grains de volume convenable. Elle est ensuite introduite dans l'appareil de contact. Sous l'influence de la chaleur, le platine se sépare dans les sels dans un état de division extrême.

Avec les gaz qui renferment au moins 4 vol. p. 100 d'acide sulfureux, on peut aussi préparer de l'*acide sulfureux liquide*. (Usine à zinc de Hamborn, près Oberhausen; usine à zinc Silesia, près Lipine.)

Comme les usages de l'acide sulfureux liquide ne sont pas encore très nombreux (préparation de la cellulose au sulfite, production du froid, fabrication du sucre, blanchiment) et comme l'installation d'une usine pour sa préparation est coûteuse, il ne faut pas s'attendre à ce que la production de cet acide avec les gaz de grillage prenne une grande extension. A la Guidohütte, près Chropaczow (Haute Silésie), où le procédé a été employé pendant longtemps, celui-ci a été abandonné et remplacé par la fabrication d'acide sulfurique. Le procédé en question a été indiqué par SCHRÖDER et HÄNISCH.

Ce procédé<sup>1</sup> consiste à faire absorber l'acide sulfureux des gaz de grillage par de l'eau tombant goutte à goutte dans une tour à coke, puis à expulser de cette eau, au moyen de la chaleur, l'acide sulfureux à l'état concentré, ne contenant qu'une partie de vapeur d'eau, à séparer ensuite cette dernière du mélange gazeux au moyen d'acide sulfurique concentré ou de chlorure de calcium et enfin à liquéfier l'acide sulfureux gazeux concentré ainsi obtenu, à l'aide d'un compresseur.

L'absorption de l'acide sulfureux des gaz de grillage a lieu, comme on vient de le dire dans des tours à coke, au moyen d'eau y tombant en pluie.

L'expulsion de l'acide sulfureux de la solution ainsi obtenue est pratiquée dans trois appareils différents, dans lesquels agissent la chaleur des gaz de grillage, la chaleur latente de la vapeur d'eau, qui se dégage lors de l'expulsion de l'acide sulfureux de l'eau contenant ce dernier, et la chaleur de l'eau dépouillée de l'acide sulfureux. L'eau acide est d'abord envoyée dans un système de chambres en plomb peu élevées, où elle est réchauffée par l'eau désacidifiée encore chaude entourent les chambres. Elle arrive ensuite dans des chaudières en plomb closes, au-dessous desquelles circulent, avant de passer dans la tour d'absorption, les gaz de grillage chauds sortant des fours et qui, en cédant leur chaleur aux chaudières, portent à l'ébullition le liquide qu'elles renferment. L'acide sulfureux se dégage alors du liquide bouillant et pénètre dans l'appareil à déshydratation. La liqueur bouillante, non encore complètement désacidifiée est déversée des chaudières en plomb dans une colonne, où sont éliminées, au moyen de vapeur d'eau directe, les dernières portions de l'acide sulfureux et la vapeur d'eau séparée de l'acide sulfureux par une injection d'eau froide. L'eau chaude désacidifiée sert pour réchauffer l'eau acide sortant de la tour à absorption; dans ce but, on la fait passer de la colonne à travers un système de chambres en plomb, qui entourent les chambres contenant l'eau acide.

<sup>1</sup> Brevets allemands n<sup>os</sup> 26 181, 27 581 et 36 721.

Pour séparer les vapeurs aqueuses d'avec l'acide sulfureux expulsé de l'eau, le mieux est de faire monter le mélange gazeux dans une tour remplie de coke, dans laquelle tombe sous forme de pluie de l'acide sulfurique concentré, qui absorbe toute l'eau.

L'acide sulfureux ainsi complètement deshydraté est liquéfié au moyen d'une pompe à compression (en bronze) et recueilli dans des vases en fer suffisamment résistants. La pression employée pour la liquéfaction s'élève, suivant la saison, à 2 — 3,5 atmosphères. Les gaz difficiles à condenser qui accompagnent l'acide sulfureux sont envoyés par une soupape, adaptée aux vases collecteurs, dans la tour où sont absorbés les gaz sortant des fours de grillage. L'acide sulfureux liquide est expédié dans des vases en fer. Il contient 99,8 p. 100 de  $\text{SO}_2$  pur.

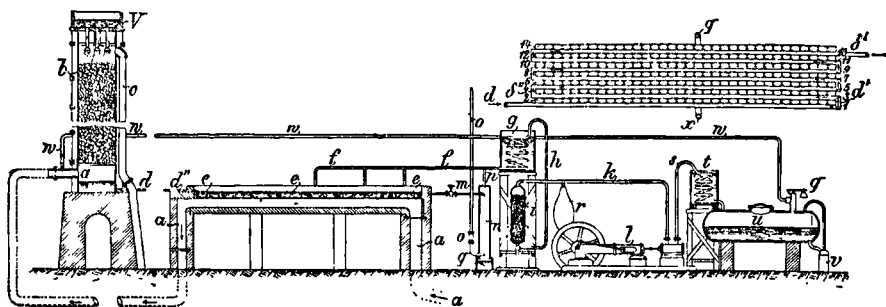


Fig. 577 et 578. — Appareil de Schröder et Hänisch pour la préparation de l'acide sulfureux liquide.

Les gaz sortant des fours à griller la blende à Hamborn et à Lipine renferment environ 6 volumes p. 100 d'acide sulfureux. Dans les tours à absorption, celui-ci est absorbé de ces gaz jusqu'à 0,05 vol. p. 100. L'eau qui sort des tours contient 12 kilogrammes d'acide sulfureux par mètre cube.

Le dispositif pour la préparation de l'acide sulfureux liquide avec les gaz de grillage est représenté par les figures 577 et 578<sup>1</sup>.

Des fours de grillage, les gaz arrivent par le canal *a* dans la tour d'absorption *b*. En passant à travers *a*, ils abandonnent leur chaleur aux chaudières en plomb *e*. Ils montent dans la tour en plomb remplie de coke et y sont dépouillés de l'acide sulfureux par l'eau introduite par la caisse distributive *V*. Les gaz arrivant à l'extrémité supérieure de la tour, lesquels se composent d'azote, d'oxygène et de très petites quantités d'acide sulfureux, sont conduits par le tube *c* dans le canal communiquant avec la cheminée.

L'eau contenant l'acide sulfureux en dissolution passe par le tube *d*, adapté au bas de la tour, dans un réchauffeur. Ce dernier est représenté isolément par la figure 578. Il se compose d'une série de chambres en plomb superposées, n'ayant chacune que 4 centimètres de hauteur et formant deux systèmes. Dans l'un des systèmes, monte le liquide acide à réchauffer, tandis que dans l'autre coule de haut en bas l'eau chaude

<sup>1</sup> *Zeitschrift für angewandte Chemie*, 1888, p. 448.

désacidifiée, en abandonnant sa chaleur au liquide circulant en sens inverse. A cet effet, les chambres sont superposées de façon que toujours une chambre de l'un des systèmes se trouve intercalée entre deux chambres de l'autre. Dans les chambres désignées par les chiffres impairs (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13), l'eau acide monte, tandis que dans celles désignées par les chiffres pairs (14, 12, 10, 8, 6, 4, 2), l'eau désacidifiée chaude coule de haut en bas. Les chambres de même système communiquent entre elles alternativement dans toute la largeur de leurs extrémités. Sur le fond de chaque chambre sont disposées des lames de plomb inclinées suivant la direction du courant des liquides. L'eau acide qui s'écoule de la tour d'absorption passe par *d* dans la chambre 1 ; elle monte par *d'* dans la chambre 2, par *d''* dans la chambre 3 et ainsi de suite, jusqu'à ce que, par *δ*, elle sorte réchauffée de la dernière chambre (13), pour s'écouler par *d''* dans les chaudières en plomb *e*. L'eau chaude désacidifiée circule en sens inverse. Elle pénètre par le tube *g* dans la chambre supérieure (14), traverse celle-ci et arrive à son extrémité, par la communication non visible dans la figure, dans la chambre 12, puis de celle-ci dans la chambre 10 et ainsi de suite, jusqu'à ce que, après avoir abandonné la majeure partie de sa chaleur, elle s'écoule à l'extrémité de la chambre 2 par le tube *x*.

Le liquide acide, ainsi réchauffé par l'eau chaude désacidifiée, arrive par le tube *d''* dans les chaudières en plomb closes *e*, *e*, qu'il traverse successivement. Dans ces chaudières, chauffées par dessous au moyen des gaz de grillage chauds, il est porté à l'ébullition et laisse dégager l'acide sulfureux avec une certaine quantité de vapeur d'eau. Le mélange gazeux passe, par le tube *f*, dans le serpentín *g*, refroidi par de l'eau, dans lequel est condensée une partie des vapeurs aqueuses, puis il retourne par le même tube dans les chaudières ou dans la colonne, et il se rend ensuite par le tube *h* dans la tour exsiccatrice *i*, où sont retenues, par du coke imprégné d'acide sulfurique concentré, les dernières portions de la vapeur d'eau. De la tour exsiccatrice, l'acide sulfureux se rend par le tube *k* dans le compresseur. Afin de régler la compression, le tube *k* est mis en communication avec le sac en taffetas *r*. Le mouvement de la pompe *l* est réglé suivant la grandeur de ce sac. Le gaz est refoulé par le tube *s* dans le serpentín *t*, où il se liquéfie. L'acide sulfureux liquide s'écoule du serpentín dans le récipient en fer doux *u*. Les gaz (oxygène et azote) entraînés par le liquide passent, après ouverture de la soupape *q* adaptée sur le récipient, dans le tube *w*, qui les conduit dans la tour à absorption. Du récipient *u*, on écoule l'acide sulfureux liquide dans des bouteilles en fer doux *v* de 50 à 100 kilogrammes de capacité ou dans des wagons-citernes pouvant contenir 100 tonnes de liquide.

Le liquide bouillant, qui est resté dans les chaudières *e*, *e* retient encore de petites quantités d'acide sulfureux. Pour retirer ce dernier, on fait arriver le liquide par le tube *m* dans la colonne *n*. Là, il est porté à l'ébullition au moyen de vapeur d'eau pénétrant inférieurement par le tube *o*, pendant que de l'eau est injectée à l'autre extrémité. L'acide sulfureux et la vapeur d'eau montent dans la tour, sont en partie condensés par le liquide tombant en pluie et, arrivés en bas, sont expulsés de la colonne. Des gaz s'échappant par la partie supérieure de celle-ci, les

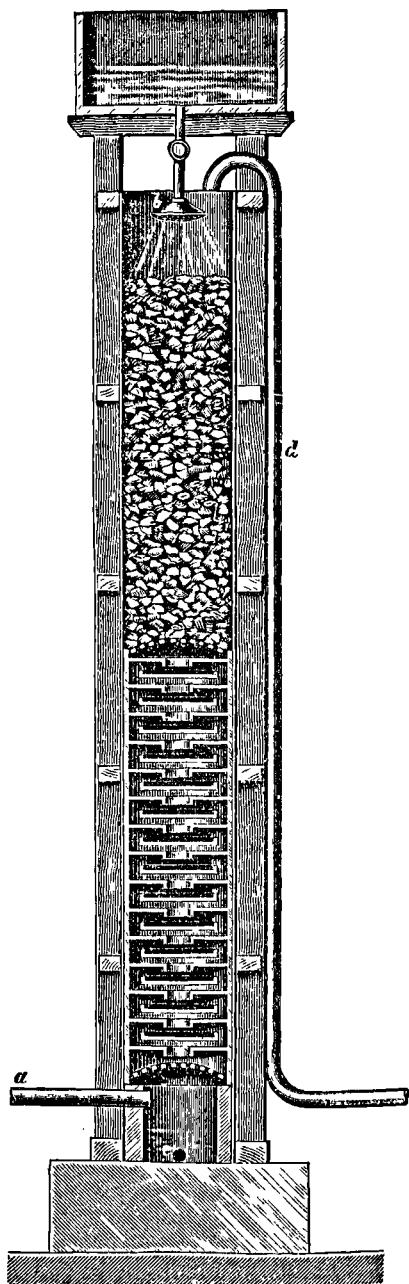


Fig. 579. — Disposition de la colonne *n* de la figure 578.

vapeurs aqueuses sont condensées au moyen d'une injection d'eau, qui s'écoule à son tour par en bas. Une partie de l'acide sulfureux est ici absorbée par l'eau. Mais, comme la quantité de celle-ci ne suffit que pour l'absorption d'une quantité relativement faible de l'acide sulfureux, la majeure partie de ce dernier se dégage par le tube *p* dans le serpentin *g*, où elle se réunit avec l'acide sulfureux expulsé des chaudières *e, e*. Le liquide tombant en pluie dans la colonne perd peu à peu son acide sulfureux et, porté à l'ébullition par la vapeur d'eau, il arrive au fond de la colonne dépouillé d'acide sulfureux; de là, il passe par le tube *q* dans les chambres en plomb décrites précédemment et réchauffe l'eau acide venant de la tour d'absorption.

La colonne *n* consistant en une tour remplie de fragments de poterie dans sa partie supérieure et de coke dans sa partie inférieure, a dans ces derniers temps subi quelques perfectionnements<sup>4</sup>. La disposition de la colonne du brevet allemand n° 36 721 est mise en évidence par la figure 579. Les vapeurs chaudes pénètrent par *a*; de l'eau est déversée en pluie au moyen de la pomme d'arrosoir *b*; l'acide sulfureux s'échappe par le tube *d*. Le liquide désacidifié chauffé à l'ébullition sort par le tube *e*. Le liquide tombant par la partie supérieure de la colonne est retenu par des assiettes en terre et ainsi exposé pendant un temps plus long à l'action de la vapeur ascendante.

Les bouteilles, dans lesquelles l'acide sulfurique liquide est expédié, sont représentées par les figures 580 et 581. Elles sont munies d'un robinet *c*, qui, pendant le trans-

<sup>4</sup> Brevets allemands n° 30 721 et 52 023.



port, est recouvert d'un capuchon *a*. Si l'on veut employer l'acide sulfureux sous forme gazeuse, on pose les bouteilles verticalement (fig. 580), on tourne le robinet *c* à l'aide d'une clé et on enlève la fermeture de l'ajutage *b*. Le gaz s'échappe alors jusqu'à ce que la température se soit abaissée à  $-10^{\circ}$ , par suite de la volatilisation du liquide. Le gaz ne recommence à sortir que lorsque la bouteille a emprunté à l'air ambiant une quantité de chaleur suffisante.

Si l'on veut employer l'acide sulfureux à l'état liquide, on place la bouteille de façon que l'ajutage *b* se trouve en haut (fig. 581). De l'acide sulfureux liquide s'échappe alors sous la pression du gaz par l'ajutage ou par un tube en plomb ou en caoutchouc adapté à ce dernier. On peut alors vider tout l'acide contenu dans la bouteille par le tube recourbé *n* descendant jusque sur son fond. Afin d'éviter les explosions, les bouteilles sont essayées à une pression de 50 atmosphères. La tension de la vapeur de l'acide sulfureux est égale à  $10^{\circ}$ , à 1,26 atm.; à  $20^{\circ}$ , à 2,24 atm.; à  $30^{\circ}$ , à 3,51 atm.; à  $40^{\circ}$ , à 5,15 atm. Le mieux est de conserver les bouteilles dans des locaux dont la température ne dépasse pas  $40^{\circ}$ .

L'acide sulfureux dégagé des fours à mouffles et des fours à cuve convient aussi pour la préparation du *sulfate de sodium* avec le sel marin, d'après le procédé de HARGREAVES, tel qu'il est appliqué dans un certain nombre de fabriques de soude anglaises, et aussi depuis 1890 dans la fabrique de produits chimiques la Rhenania, à Stolberg, près d'Aix-la-Chapelle. Le procédé consiste à faire passer les gaz de grillage, avec de l'air et de la vapeur d'eau, dans des cylindres en fonte chauffés par un foyer extérieur et dans lesquels se trouvent, sur une grille en fer, des morceaux de sel sphé-

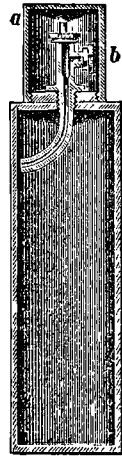


Fig. 580. — Bouteille à acide sulfureux liquide : position à donner au vase pour en retirer de l'acide gazeux.

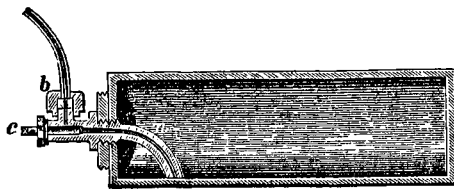
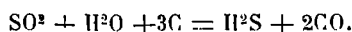


Fig. 581. — Bouteille à acide sulfureux liquide ; position à donner au vase pour en retirer l'acide à l'état liquide.

riques. Il se forme alors du sulfate de sodium, en même temps qu'il se dégage de l'acide chlorhydrique.

Les gaz de grillage des fours à mouffles et des fours à cuve peuvent également être employés pour la préparation d'*acide sulfhydrique*. Il suffit pour cela de les faire passer, en même temps que de la vapeur d'eau, à travers des fours à cuve contenant du coke incandescent. Celui-

ci est maintenu dans cet état au moyen d'air injecté de temps en temps. L'acide sulfhydrique se forme d'après l'équation :



Mais l'acide sulfhydrique n'est que rarement employé et seulement en quantités peu considérables (pour la précipitation de métaux [Cu, Ag] de leurs solutions).

On peut obtenir de l'*hyposulfite de sodium* avec les gaz des fours à cuve et des fours à moufles, en les faisant passer dans une solution de sulfure de sodium. Il se forme alors le sel en question et il se sépare du soufre. L'emploi de l'hyposulfite de sodium (extraction de l'argent) est aussi très restreint.

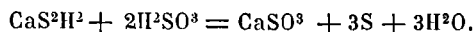
On peut extraire du *soufre* des fumées d'usine d'après différentes méthodes.

On peut préparer directement du soufre avec les gaz de grillage des fours à cuve et des fours à moufles en faisant passer ces gaz dans des solutions des polysulfures du calcium ou du sodium, ou en les laissant agir sur de l'hydrogène sulfuré, ou bien indirectement en séparant d'abord l'acide sulfureux et réduisant ce dernier par le charbon ou le gaz d'éclairage.

On ne préparera du soufre avec les polysulfures des terres alcalines que lorsqu'on pourra se procurer ces derniers sans frais, sous forme de produits secondaires encombrants d'autres industries (résidus décomposés à l'air de la fabrication de la soude par le procédé Leblanc).

KOSMANN<sup>1</sup> propose de convertir le monosulfure de calcium en *sulphhydrate de calcium* par traitement au moyen d'acide carbonique et d'eau (comme le fait aussi CHANCE dans son procédé de préparation d'hydrogène sulfuré ou de soufre avec les résidus des fabriques de soude Leblanc), et d'employer ensuite le sulfhydrate de calcium comme absorbant pour l'acide sulfureux des gaz de grillage des fours à réverbère.

Les acides du soufre sont absorbés par le sulfhydrate de calcium avec formation de sulfite ou de sulfate de calcium et séparation de soufre d'après l'équation :

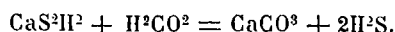


On obtient ainsi un précipité de sulfite de calcium, de sulfate de calcium et de soufre.

Lors de l'action de l'acide carbonique sur le sulfure de calcium, il se forme d'abord du sulfhydrate de calcium et du carbonate de calcium d'après l'équation :

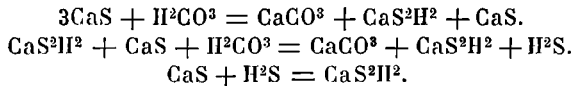


L'action de l'acide carbonique continuant, il se dégage du sulfhydrate de calcium de l'hydrogène sulfuré, avec formation de carbonate de calcium, d'après l'équation :



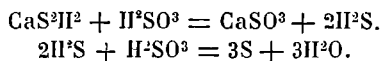
<sup>1</sup> Glückauf, Berg-und Hüttenmänn. Zeitung in Essen, n° 35, du 2 mai 1894.

KOSMANN interrompt le processus, lorsque la majeure partie du sulfure de calcium a été transformée en sulfhydrate, et il dirige l'hydrogène sulfuré qui prend naissance sur une nouvelle portion de monosulfure de calcium, laquelle est également transformée en sulfhydrate par l'hydrogène sulfuré. Suivant KOSMANN, le processus se passe de la manière suivante :



On obtient, d'après cela, avec 4 molécules de sulfure de calcium et 2 molécules d'acide carbonique, 2 molécules de sulfhydrate de calcium, et 2 molécules de carbonate de calcium, ou avec 2 molécules de sulfure de calcium 1 molécule de sulfhydrate de calcium.

La solution de sulfure de calcium est, à l'aide d'un injecteur à vapeur, soufflée en même temps que de la vapeur d'eau dans les gaz de grillage. Elle absorbe l'acide sulfureux d'après les équations :



D'après cela, 2 molécules d'acide sulfureux sont absorbés par 1 molécule de sulfhydrate, avec formation de 1 molécule de sulfite de calcium ou de sulfate de calcium et séparation de 3 atomes de soufre.

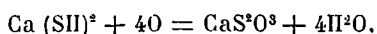
Comme, maintenant, il faut pour la préparation de 1 molécule de sulfhydrate 2 molécules de sulfure de calcium, on pourrait, si le processus se passait exactement d'après la théorie, rendre inoffensive 1 molécule d'acide sulfureux et séparer en même temps 1,5 atome de soufre.

On obtient le soufre mélangé avec du sulfite ou du sulfate de calcium. Il est séparé de ce mélange par ébullition avec de la chaux caustique ; on obtient ainsi un polysulfure de calcium, qui est employé comme absorbant pour l'acide sulfureux. La majeure partie du soufre est ainsi séparée, en même temps qu'il se forme du sulfite et du sulfate de calcium. Du précipité ainsi obtenu, le soufre est séparé par distillation.

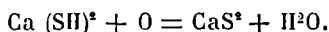
Ce procédé, bien conçu, n'a pas jusqu'à présent été introduit dans la pratique.

Bien que le sulfhydrate et le polysulfure de calcium absorbent l'acide sulfureux beaucoup mieux que le lait de chaux, il faut cependant songer que la préparation de l'acide carbonique nécessaire pour le processus (par cuisson de pierre calcaire ou combustion de coke) occasionne des frais assez considérables, que le carbonate de calcium obtenu lors de la préparation du sulfhydrate ne peut pas être utilisé et constitue un corps gênant exigeant beaucoup d'espace, qu'en outre la préparation du sulfure de calcium (par réduction de sulfate de calcium), si on ne peut pas se le procurer sous forme de résidus de soude Leblanc, n'est pas sans exiger une dépense assez importante, et qu'enfin du calcium contenu dans le sulfure, la moitié seulement est transformée en sulfate ou sulfite, tandis que l'autre moitié est convertie en carbonate, lors de la préparation du sulfhydrate. Avec le sulfite, ou le sulfate on peut régénérer le sulfure de

calcium, mais non avec le carbonate. Pour la préparation du sulfure de calcium nécessaire pour la formation du sulphydrate, un apport incessant de sulfate de calcium (la moitié du sulfate entré dans le processus) est donc indispensable. Enfin, il faut beaucoup plus de sulphydrate que ne l'indique le calcul théorique, parce que dans les gaz de grillage des fours à reverbère à rendre inoffensifs il y a toujours de l'air et de l'acide carbonique, qui agissent également sur le sulphydrate. L'oxygène de l'air transforme ce dernier partie en hyposulfite de calcium, partie en polysulfure de calcium, d'après les équations :



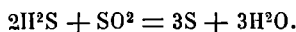
et



Tandis que le polysulfure de calcium absorbe de l'acide sulfureux, l'hyposulfite n'est pas attaqué par ce dernier. Tout le sulphydrate, qui est transformé par l'air en hyposulfite, est par conséquent perdu pour l'absorption de l'acide sulfureux. En outre, le polysulfure de calcium formé n'absorbe pas l'acide sulfureux aussi avidement que le sulphydrate, 2 molécules du premier n'absorbant que 3 molécules d'acide sulfureux et non 4 comme le sulphydrate.

L'acide carbonique agissant sur le sulphydrate donne naissance à du carbonate de calcium, avec formation d'hydrogène sulfuré, de sorte que le calcium du sulphydrate est soustrait à l'action de l'acide sulfureux.

On peut retirer du *soufre* du gaz de grillage à l'aide de l'*hydrogène sulfuré*, en faisant monter les deux gaz dans des tours en bois, dans lesquelles tombe en pluie une solution de chlorure de calcium. Le soufre se sépare d'après l'équation :



Les gaz sont introduits à l'extrémité inférieure de la tour, pendant que la solution de chlorure de calcium, qui fait séparer le soufre sous forme de grains, coule par en haut et ruisselle vers le bas de la tour sur des plaques de bois disposées en chicane. Le soufre précipité sur les plaques sort de la tour avec la solution de chlorure de calcium et tombe dans une série de cuves établies les unes au-dessus des autres; il se dépose au fond de celles-ci, et la solution clarifiée est retournée dans la tour au moyen d'une pompe. Le soufre est fondu sous l'eau, à l'aide de vapeur à 2,5 atm. de tension.

Si l'hydrogène sulfuré n'est pas obtenu comme produit secondaire de certaines opérations chimiques (traitement par l'acide sulfurique de sulfures métalliques contenant du sulfure de fer), on peut le préparer, comme il a été expliqué précédemment, en faisant passer une partie des gaz de grillage avec de la vapeur d'eau à travers une colonne de coke incandescent. Il peut aussi être préparé (procédé de CHANCE) par traitement au moyen d'acide carbonique des résidus de la fabrication de la soude Leblanc (monosulfure de calcium).

Ce procédé n'est à recommander que lorsque l'hydrogène sulfuré peut être obtenu sans grande dépense.

Du soufre ne peut être préparé par réduction de l'acide sulfureux à l'aide du charbon qu'avec des gaz concentrés, comme ceux qui servent pour la fabrication de l'acide sulfureux liquide, d'après le procédé de SCHRÖDER et HÄNISCH.

Ce corps ne peut pas, par conséquent, être extrait directement des gaz de grillage des fours à moufles et des fours à cuve, mais seulement après concentration de ces gaz au moyen d'eau. Dans les tentatives effectuées autrefois en vue de l'extraction du soufre des gaz de grillage dilués, une partie du charbon, par suite de la présence d'air dans ces gaz, brûlait en pure perte, et par suite de la dilution de l'acide sulfureux par des gaz indifférents, ce dernier n'était qu'incomplètement réduit en soufre.

SCHRÖDER et HÄNISCH ont pris un brevet pour l'extraction du soufre de l'acide sulfureux concentré comme il est dit plus haut.

L'acide sulfureux est conduit d'abord dans un moufle rempli de coke incandescent et ensuite dans un second moufle vertical renfermant des corps indifférents chauffés au rouge, dites substances de contact, comme des briques ordinaires, des briques réfractaires, etc. Dans le moufle rempli de coke, la moitié environ de l'acide sulfureux est réduite en soufre, tandis que dans l'autre, l'acide sulfureux encore présent et les gaz, oxyde, sulfure et oxysulfure de carbone, formés dans le premier moufle, réagissent les uns sur les autres en donnant naissance à du soufre et à de l'acide carbonique. Les vapeurs de soufre et de l'acide carbonique passent du deuxième moufle dans une chambre de condensation, où la majeure partie du soufre est obtenue à l'état liquide, et le reste sous forme de fleurs de soufre. Dans les expériences effectuées dans l'usine à zinc de GRILLO, à Neumühl-Hamborn, on transforma en soufre de cette manière 99 vol. p. 100 de l'acide sulfureux. Les gaz sortant de la chambre de condensation contenaient 96-97 vol. p. 100 d'acide carbonique, 2-3 vol. p. 100 d'oxyde de carbone.

D'après le brevet de SCHRÖDER et HÄNISCH, on peut, pour la réduction de l'acide sulfureux, se servir, au lieu de coke, d'oxyde de carbone, de gaz d'éclairage ou d'un mélange gazeux riche en carbone.

On ne peut encore actuellement formuler une opinion sur le résultat économique de l'extraction du soufre d'après ce procédé, parce qu'il n'a pas encore été appliqué en grand. Jusqu'à présent, l'acide sulfureux concentré préparé au moyen d'eau a été exclusivement employé pour la fabrication d'acide sulfureux liquide.

L'emploi des gaz de grillage pour la *préparation de solutions de cuivre* n'est possible que dans des conditions tout à fait locales et même alors seulement dans des limites tout à fait restreintes, par exemple, pour l'extraction du cuivre de minerais cuprifères pauvres oxydés ou salins, pour la dissolution du cuivre contenu dans des cuivres de ciment contenant de l'or et de l'argent. Dans le premier cas, on fait arriver les gaz de grillage, avec de la vapeur d'eau et des gaz nitreux, au-dessous des minerais placés sur une grille en briques ou en bois.

Dans le deuxième cas, on se sert du dispositif indiqué par RÜSSLER, lequel consiste en un vase en fer doux A (fig. 582), dans lequel se trouve une dissolution de cuivre. Au moyen d'un injecteur de KÖRTING B, les gaz sont refoulés dans le liquide, où ils sont disséminés en minces jets par un

anneau distributeur. L'acide sulfureux se transforme alors en acide sulfurique, en même temps que le sulfate de bioxyde de cuivre est réduit en sulfate de protoxyde. L'acide sulfurique formé dissout le cuivre de ciment aurifère et argentifère placé dans le vase A. De l'azote et de l'oxygène se dégagent par le tube Z. Cet appareil est en usage dans l'affinerie de Francfort-sur-le-Mein. Les gaz contenant l'acide sulfureux sont, lors de

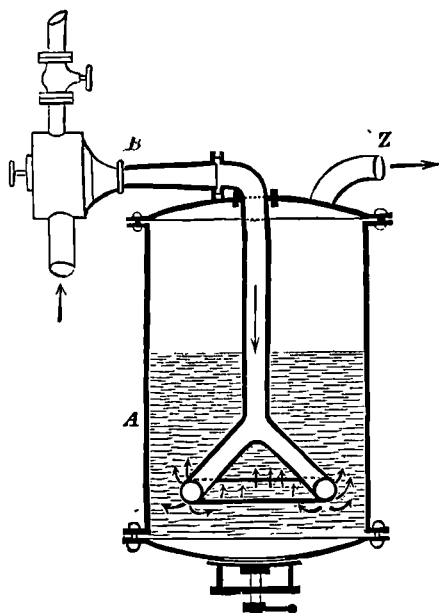


Fig. 582. — Appareil de Rössler pour la dissolution par les gaz de grillage du cuivre de ciment aurifère et argentifère (affinerie de Francfort-sur-le-Mein).

la dissolution d'argent aurifère, dégagés dans de l'acide sulfurique concentré bouillant

D'après WINKLER, le fer métallique humecté avec de l'eau est très bien dissous par les gaz qui ne sont pas trop pauvres en acide sulfureux. De la solution obtenue, on peut extraire du sulfate ferreux.

Le sesquioxyde de fer maintenu humide absorbe lentement l'acide sulfureux, avec formation de sulfites du fer, qui se transforment en sulfates ferreux et ferrique. Le sulfate ferrique l'absorbe en passant à l'état de sulfate ferreux. Mais ces deux corps, à cause de leur pouvoir absorbant peu énergique et du peu de valeur des produits de l'absorption, ne sont pas employés.

En Belgique (à Flône), on a rendu inoffensifs les gaz de grillage en les conduisant dans des

haldes de *minerais d'alun* et ainsi désagrégé ces derniers.

Dans beaucoup de cas, l'acide sulfureux des fumées d'usines est *concentré* avant son emploi. Le moyen le plus simple pour obtenir cette concentration consiste à mélanger les fumées avec des gaz riches en acide sulfureux, — que ceux-ci soient dégagés d'autres fours (fours de grillage) ou préparés avec des fumées d'usines d'une façon particulière. Le premier cas se rencontre, par exemple, aux usines de Freiberg, où l'on mélange les fumées pauvres en acide sulfureux provenant du grillage de mattes pauvres en soufre avec des fumées riches résultant du grillage de minerais riches en soufre. On obtient d'une façon particulière avec les fumées d'usines des gaz riches en acide sulfureux *en unissant ce dernier à différents absorbants et l'en expulsant ensuite par la chaleur à l'état concentré*. Le plus simple de ces absorbants est l'eau, qui, comme on l'a déjà dit, trouve emploi lorsque l'acide sulfureux doit être concentré en vue de sa liquéfaction. (Hamborn, Lipine). Parmi les autres corps qui peuvent être employés comme absorbants, nous citerons l'oxyde de zinc, le carbonate de zinc basique et la magnésie. Ces corps forment avec l'acide sulfureux des

sulfites, qui se décomposent facilement à chaud, en dégageant de l'acide sulfureux concentré. L'oxyde et le carbonate basique de zinc ont été autrefois employés au Lautenthal, dans le Harz, mais on a cessé de s'en servir, parce que, outre le sulfite, il se formait aussi du sulfate de zinc difficilement décomposable. La magnésie n'a pas non plus été définitivement adoptée, à cause de la grande quantité de sulfate de magnésium qui se forme en même temps que le sulfite.

*Procédés pour rendre inoffensif l'acide sulfureux  
sans utilisation simultanée.*

Pour rendre inoffensif l'acide sulfureux des fumées d'usines, sans en même temps l'utiliser, on dilue les fumées avec de l'air, ou on absorbe l'acide sulfureux au moyen d'eau et de pierres calcaires, à l'aide d'un lait de chaux, ou on conduit les fumées dans des haldes renfermant des corps pouvant absorber l'acide sulfureux.

La dilution de l'acide sulfureux au moyen d'air peut être produite en conduisant les fumées dans les régions élevées de l'atmosphère, à l'aide de hautes cheminées. L'acide sulfureux, si les fumées n'en referment pas de trop grandes quantités, est alors dilué de telle façon qu'en retombant vers la terre, il n'exerce plus qu'une action peu intense ou même nulle sur la végétation. C'est ce qui arrive surtout avec les fumées se dégageant des fours à réverbère. Si les conditions du terrain le permettent, le mieux est d'établir les cheminées en question sur une haute montagne.

La hauteur et la section transversale de la cheminée dépendent de la quantité de l'acide sulfureux qui en sort dans l'unité de temps. Ainsi, par exemple, la hauteur de la cheminée de l'usine à plomb de Mechernich, qui est établie sur une montagne, s'élève à 134,6 mètres, celle de la cheminée de l'usine à zinc de Hamborn, qui est établie dans un pays plat est égale à 100 mètres et offre une section intérieure de 2,54 mètres carrés.

La cheminée de l'usine de Halsbrück, près Freiberg, avec 150 mètres de hauteur, est actuellement la cheminée la plus élevée du monde. Comme on ne peut augmenter la vitesse du tirage de la cheminée au-dessus de 50 mètres, tous les frais d'établissement qui dépassent ceux de l'érection d'une cheminée avec cette hauteur sont à la charge de la suppression de l'action délétère de l'acide sulfureux.

L'emploi des hautes cheminées est le procédé le moins coûteux pour rendre inoffensif l'acide sulfureux, et dans beaucoup de cas il remplit parfaitement son but.

À l'aide d'eau et de pierre calcaire, d'un lait de chaux et d'autres substances absorbantes, on peut éliminer complètement l'acide sulfureux des fumées, si l'on a soin d'employer ces substances en quantités convenables. Mais pour atteindre le but désiré, les appareils à absorption nécessaires pour l'application de ces moyens, doivent avoir une grande section et ils doivent, en outre, être pourvus de grandes quantités de liquide et de ventilateurs énergiques. Les modes d'absorption dont il s'agit entraînent pour ces raisons des frais considérables et ils grèvent fortement le procédé dans lequel l'acide sulfureux est dégagé. C'est pour cela qu'ils ne sont employés que lorsque l'acide sulfureux cause des dommages consi-

dérables dans le voisinage de l'usine où il est produit et qu'il est absolument impossible de l'utiliser.

Lorsqu'on se sert d'eau et de *Pierre calcaire* ou de dolomie, on remplit des tours avec des fragments de ces derniers corps et on fait ruisseler de l'eau dans les intervalles. L'acide sulfureux des gaz introduits dans la partie inférieure de ces tours forme du sulfite de calcium ou de magnésium.

L'acide sulfureux peut être parfaitement absorbé par un *lait de chaux*. Il se forme du sulfite de calcium qui, au contact de l'air, se transforme peu à peu en sulfate de calcium. C'est pour cela que l'on obtient comme produit de l'absorption un mélange de sulfite et de sulfate de calcium.

Pour réaliser cette absorption, on expose les gaz de grillage dans des tours à l'action d'un lait de chaux y tombant en pluie et l'on emploie de nouveau comme absorbant le produit ainsi obtenu, qui renferme encore une grande quantité d'hydrate de chaux libre. Dans une usine de la Haute-Silésie, les gaz de grillage sont, au moyen du tirage d'une cheminée, aspirés dans une tour recevant une pluie de lait de chaux, qu'ils traversent d'abord de bas en haut et ensuite de haut en bas, et, ne contenant plus maintenant que de très petites quantités d'acide sulfureux, ils passent dans une cheminée haute de 100 mètres, par laquelle les dernières portions de  $\text{SO}_2$  sont amenées dans des régions de l'atmosphère assez élevées pour qu'elles ne puissent pas exercer d'action nuisible. Les masses précipitées dans les tours sont conduites dans des bassins, où le sel se dépose. Celui-ci est enlevé et déversé dans des haldes, tandis que l'eau qui le surnage est retournée dans les tours.

Comme nous l'avons déjà vu, l'acide sulfureux peut aussi être absorbé par l'eau, lorsqu'il n'est pas trop fortement dilué par d'autres gaz et qu'il a une basse température. Les expériences qui ont été faites en vue de rendre inoffensifs les gaz des fours à réverbère, en les faisant passer dans des tours en plomb remplies de coke et dans lesquelles de l'eau tombait sous forme de pluie, non seulement n'ont pas conduit à des résultats favorables relativement à l'absorption de l'acide sulfureux, mais encore ont exigé l'élimination des poussières, le refroidissement préalable des gaz, des tours à grande section et des ventilateurs énergiques pour entretenir le tirage. C'est pour cela que l'absorption de l'acide sulfureux des gaz de grillage des fours à réverbère par l'eau seule n'a pas été mise en pratique.

Une *tour d'absorption par l'eau* est représentée par la figure 383. Les fumées arrivent par le canal *n* sous la grille *b*, traversent la colonne de coke supportée par celle-ci et sortent à son extrémité supérieure par le tuyau *v*, duquel elles passent par le conduit *f* dans le canal de la cheminée. L'eau contenue dans la caisse *g* s'écoule par les tubes à pomme d'arrosoir *h* sur la colonne de coke, ruisselle à travers celle-ci et absorbe l'acide sulfureux des fumées arrivant en sens inverse.

Dans les pages précédentes, nous n'avons décrit, parmi les procédés proposés pour rendre inoffensif et utiliser l'acide sulfureux des fumées, que ceux qui sont adoptés définitivement ou n'ont été employés que pendant peu de temps, sans faire mention des innombrables tentatives infructueuses qui ont été faites dans cette direction. Les expériences de



PLATTNER et REICH ont été décrites par ce dernier (REICH, *Die bisherigen Versuche*, etc., Freiberg 1858), celles de WINKLER, dans *Freiberger Jahrbuch*, 1880, p. 50, etc.; celles de SCHNABEL dans *Preuss. Zeitschrift für das*

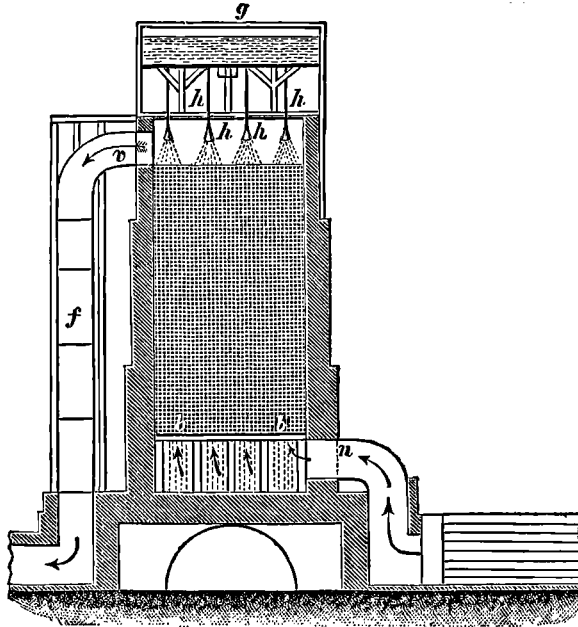


Fig. 583. — Tour pour l'absorption au moyen d'eau de l'acide sulfureux des fumées.

*Berg-Hütten-und Salinenwesen*, 1881, p. 395. L'ouvrage de C. A. HERING (*Die Verdichtung des Hüttenrauchs*, Stuttgart 1888) contient la description des dispositifs proposés jusqu'ici, ainsi que des expériences pour lesquelles ils ont servi.

#### *Procédés pour rendre inoffensif l'anhydride sulfurique.*

Les fumées qui renferment de l'acide sulfureux contiennent aussi de petites quantités d'anhydride sulfurique, corps qui exerce sur l'organisme végétal une influence particulièrement nuisible. Ordinairement, on ne rend pas ce corps inoffensif isolément. Il est mal absorbé par l'eau, mais l'acide sulfurique l'absorbe très bien. Lorsqu'il s'agit de détruire la nocuité de l'anhydride, on conduit donc les fumées dans des tours remplies de coke arrosé d'acide sulfurique, qui absorbe l'anhydride.

#### *Procédés pour rendre inoffensifs l'acide chlorhydrique et le chlore.*

Si les fumées renferment de l'acide chlorhydrique, du chlore ou des chlorures volatils, comme c'est le cas, par exemple, pour les fumées qui proviennent du grillage chlorurant, on les fait passer à travers des tours en poterie, en pierres résistant aux acides, ou en bois, renfermant des mor-

ceaux de quartz ou de coke et dans lesquelles de l'eau, tombant en pluie, absorbe les corps en question.

L'emploi de hautes cheminées n'a pas donné dans ce cas de bons résultats, parce que les gaz dont il s'agit ne se diffusent que très peu dans l'air et retombent par suite au bout d'un temps relativement court.

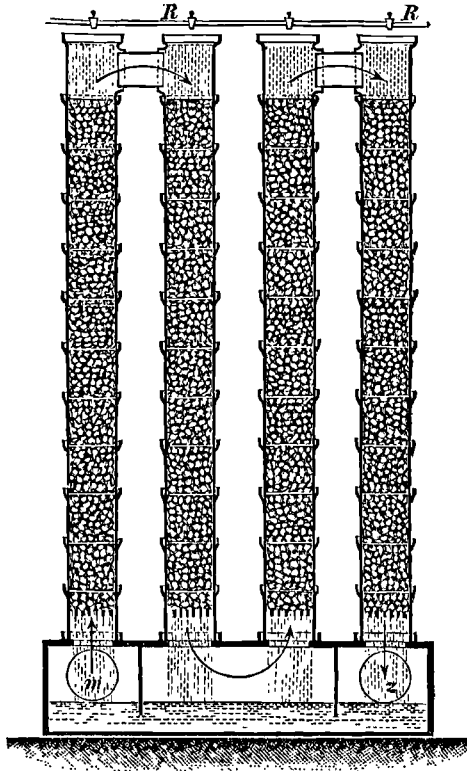


Fig. 584. — Tours d'absorption pour l'acide chlorhydrique et le chlore.

La disposition d'un groupe de plusieurs *tours d'absorption* pour les gaz en question est mise en évidence par la figure 584.

Les fumées arrivent par le tube *m* dans la première tour, descendent dans la seconde, montent dans la troisième et redescendent dans la quatrième, pour finalement se dégager par le tube *z* dans le canal conduisant à la cheminée. Les tours sont remplies de coke, de pierres de quartz, de tessons de poteries ou de tuyaux réfractaires, qui reposent sur des grilles. L'eau nécessaire pour l'arrosage des tours est fournie par le tuyau *R*. L'eau coule de ce dernier dans des caisses avec fond perforé, qui la distribuent en minces filets sur le remplissage des tours.

L'*hydrogène sulfuré* est rendu inoffensif au moyen d'eau et d'acide sulfureux, qui donnent lieu à la formation de soufre et d'eau.

**d. — DISPOSITIFS POUR FOURNIR, RÉCHAUFFER ET CONDUIRE L'AIR NÉCESSAIRE POUR LES OPÉRATIONS DE SÉPARATION PRATIQUÉES DANS LES FOURS.**

L'air, comme on l'a dit, sert pour la production de la chaleur par combustion de combustibles et pour les oxydations. Son action est surtout favorable lorsqu'il est employé sous pression, comme c'est le cas quand de hautes colonnes de lit de fusion (fours à cuve) ou même des masses liquides (procédé Bessemer) doivent être traversées, quand une oxydation rapide de certains corps doit avoir lieu (coupellation) et quand une chaleur intense doit être produite dans de petits espaces (bas-foyers soufflés). Ainsi, dans l'extraction du plomb, du cuivre, de l'argent et de l'étain en fours à cuve, l'air doit avoir une pression de 10 à 100 millimètres de mercure, suivant la nature du procédé de séparation et la grandeur des fours; dans l'extraction du fer au haut fourneau, sa pression doit s'élever jusqu'à 380 millimètres de mercure, on va même dans certains cas rares jusqu'à 760 millimètres; dans l'extraction du cuivre au convertisseur Bessemer, une pression de 350 millimètres de mercure est nécessaire; pour la préparation du fer fondu au convertisseur, il faut que l'air soit sous une pression de 1 000 à 1 500 millimètres de mercure. Dans beaucoup de cas, pour obtenir de hautes températures, on chauffe l'air avant son emploi (extraction du fer au haut fourneau).

L'air est toujours emprunté à l'*atmosphère*. Il est *refoulé* ou *aspiré* dans l'espace où il doit trouver emploi.

Dans le premier cas, l'air est, à l'aide de dispositifs particuliers, aspiré, comprimé et ensuite refoulé dans cet état dans l'espace où il doit être utilisé; dans le second cas, la tension de l'espace dans lequel l'air doit être employé est, au moyen de dispositifs d'aspiration, abaissée au-dessous de celle de l'*atmosphère*, de façon que l'air soit forcé d'affluer de l'*atmosphère* dans cet espace.

Nous avons donc à distinguer les dispositifs destinés à fournir l'air en appareils *agissant par refoulement* et appareils *agissant par aspiration*. Les premiers appareils, qui sont désignés sous le nom de **souffleries** ou de **machines soufflantes** sont toujours reliés à des dispositifs pour conduire l'air où il doit être employé ou *réchauffé*. Avec les *appareils agissant par aspiration*, l'air arrive directement de l'*atmosphère* au lieu de son emploi, de sorte qu'ici les dispositifs pour conduire l'air ou le réchauffer font défaut.

**a) Souffleries ou machines soufflantes.**

Comme on l'a dit, ces appareils servent pour recueillir et comprimer l'air, ainsi que pour le conduire dans le lieu où il doit être employé. L'air est conduit au moyen de tubes reliés aux souffleries proprement dites et qui devant le lieu de l'emploi de l'air se terminent par des pièces tubulaires coniques, appelées **buses** ou dans des **boîtes à vent**, desquelles l'air pénètre dans le four par fentes ou des tubes. Dans beaucoup de cas, les buses sont placées dans des enveloppes métalliques ou des tubes

refroidis, désignés sous le nom de **tuyères**. Avec certains dispositifs à action intermittente, il n'est pas produit de courant d'air uniforme. Dans ces cas, si on n'emploie pas des conduites tubulaires très larges et très longues, il faut établir derrière les souffleries des dispositifs qui contrebalancent les irrégularités du courant d'air et l'amènent à une tension uniforme. On donne à ces dispositifs le nom de **régulateurs**. Derrière les régulateurs ou, en l'absence de ces derniers, derrière les souffleries, sont établis les dispositifs pour le chauffage du vent soufflé, les **appareils à air chaud**. Nous avons donc à considérer d'abord les souffleries proprement dites, avec les régulateurs, puis les appareils à air chaud et enfin les dispositifs pour conduire le vent soufflé dans le lieu où il doit être employé.

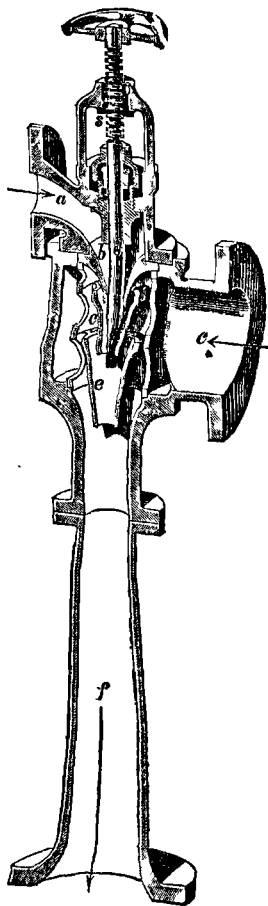


Fig. 585. — Soufflerie à jet de vapeur de Körting.

#### Souffleries proprement dites.

La compression de l'air est produite :

- 1° A l'aide de la vapeur;
- 2° A l'aide d'eau;
- 3° A l'aide de surfaces solides;
- 4° Par l'emploi simultané de surfaces solides et de la force centrifuge.

Aux dispositifs de la première espèce appartiennent les souffleries à jet de vapeur; à ceux de la seconde la trompe, les souffleries d'ALTHANS et d'HENSCHEL; à ceux de la troisième espèce les soufflets en cuir, les soufflets en bois, les souffleries en caisse, les souffleries cylindriques, les souffleries de ROOT, de JÄGER, de KNIGAR, les cagnardelles, les souffleries à cloches, à tonneaux et à chaîne; à ceux de la quatrième espèce les ventilateurs centrifuges.

#### COMPRESSION DE L'AIR A L'AIDE DE LA VAPEUR

##### Souffleries à jet de vapeur.

Ces dispositifs sont basés sur ce fait, qu'un jet de vapeur entraîne avec lui, par suite de l'adhésion, l'air qui l'entoure immédiatement et (après qu'il a perdu de sa vitesse primitive) le condense. A la place de l'air entraîné arrive continuellement de nouvel air. (Un courant d'air comprimé agit de la même manière que la vapeur.)

Les souffleries à jet de vapeur se distinguent par la simplicité de leur construction, mais elles fournissent du vent humide de faible pression. Leur effet utile dans les basses tensions va jusqu'à 75 p. 100. On ne s'en sert que pour souffler du vent sous des grilles, sur lesquelles on brûle des combustibles.

SIEMENS et KÖRTING ont construit des souffleries de ce genre.

La plus connue et la plus répandue est la soufflerie à jet de vapeur de KÖRTING, qui est représentée par la figure 585.

De la vapeur d'eau entre par le tube *a* dans la buse *b*, et de cette dernière dans les buses aspiratrices *e*, *e*. De l'air pénètre par le tube *c* dans les buses *e*, *e*, il est entraîné par le jet de vapeur et finalement refoulé à l'état condensé par le tube *f*. La tige conique *d*, qui peut être relevée ou abaissée au moyen d'une roue à main et de la vis *s*, sert pour régler l'afflux de la vapeur.

#### COMPRESSION DE L'AIR AU MOYEN DE L'EAU

L'air peut être comprimé au moyen de l'eau par un mouvement continu ou intermittent de celle-ci. La trompe est basée sur le mouvement continu de l'eau, tandis que les souffleries d'ALTHANS et d'HENSCHEL reposent sur le mouvement intermittent de ce liquide. La trompe n'est plus actuellement que rarement employée, tandis que les deux autres dispositifs ne sont en usage que depuis peu de temps.

##### *Trompe.*

La trompe est basée sur ce fait, qu'une colonne d'eau tombant avec une grande rapidité à travers un tube vertical, abaisse la tension dans la partie supérieure de ce dernier, de façon que l'air entourant cette partie du tube est, s'il s'y trouve des ouvertures, aspiré dans ce dernier et comprimé par l'eau qui vient après. Le tube débouche dans un large vase, où a lieu la séparation de l'air et de l'eau.

La disposition d'une trompe avec deux tuyaux de chute est mise en évidence par la figure 586.

L'eau arrive par la rigole P dans le tuyau E. Sa quantité peut être réglée au moyen de la tige *x*, munie d'un cône *k* à son extrémité inférieure. L'air est aspiré par les trous *v*, *v*, ménagés dans la partie supérieure du tuyau (trous d'alimentation). Le tuyau E débouche dans une cuve en bois close H (le tambour), qui est placée dans une caisse K remplie d'eau, dans laquelle est reçue l'eau tombant de E. De cette caisse, l'eau s'écoule au dehors par une rigole.

Dans le tambour se trouve un cône plat B (le brisoir), dont la pointe se trouve au-dessous de l'axe du tuyau E. Ce cône sert pour la séparation de l'eau et de l'air. Ces deux corps arrivent du tuyau E sur le brisoir, par lequel l'eau est divisée en fines gouttelettes, et ainsi séparée de l'air. L'eau finement divisée tombe dans la caisse K, tandis que l'air pénètre par le tube Q dans la conduite du vent.

Ces souffleries sont ordinairement construites en bois.

On réunit souvent en un système jusqu'à six trompes ainsi disposées, avec rigole et caisse à eau communes.

La hauteur de chute de l'eau varie de 7 à 10 mètres avec un débit de 0,061 à 0,093 mètre cube par seconde; la quantité de vent fournie par seconde s'élève à 0,06 — 0,07 mètre cube et sa pression est égale à 60-70 millimètres de mercure.

La trompe se distingue par sa simplicité, et en outre les frais qu'elle

exige pour son établissement sont peu élevés ; mais son effet utile est faible (10-15 p. 100) et elle fournit du vent humide. C'est pour cela qu'on

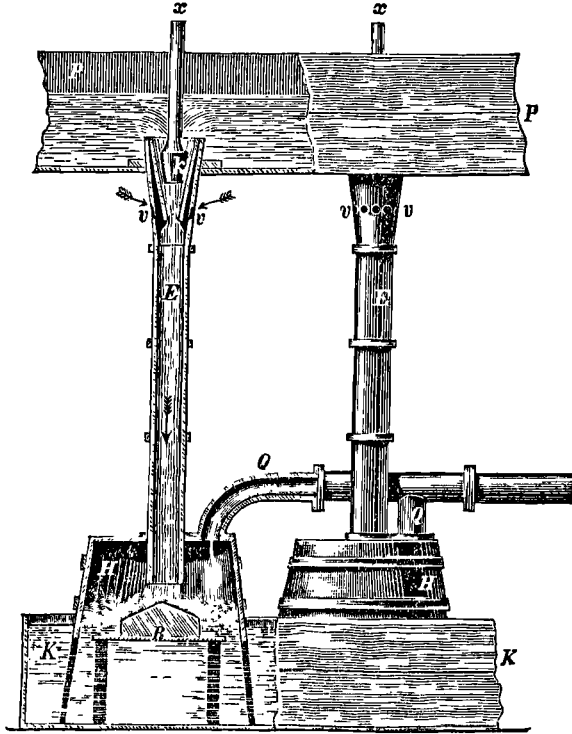


Fig. 586. — Trompe.

ne l'emploie plus que rarement et alors dans les contrées où l'on dispose d'abondantes quantités d'eau, comme par exemple, dans la Transylvanie, la Lombardie et la Styrie.

#### Souffleries d'Althans et d'Henschel.

Ces souffleries sont basées sur la compression de l'air par la *pression immédiate de l'eau*. L'air se trouve dans des tuyaux ou des caisses et il est comprimé par écoulement d'eau des tuyaux ou des caisses et il se dégage ensuite par des ouvertures particulières. Après l'élimination de l'eau des tubes ou des caisses, ceux-ci ou celles-ci se remplissent de nouvel air, qui est à son tour comprimé par l'écoulement de nouvelles quantités d'eau.

Afin d'obtenir un courant d'air continu, on dispose les uns à côté des autres ou les uns au-dessus des autres plusieurs tuyaux ou caisses.

La disposition de ces deux souffleries est compliquée, elles fournissent du vent de faible tension et c'est pour cela qu'elles n'ont jamais été définitivement adoptées. Pour cette raison, nous ne décrivons que brièvement

la disposition de la plus simple de ces deux souffleries, celle de la *soufflerie* d'ALTHANS, qui est représentée par les figures 587 et 588.

Une gouttière annulaire *v* est pourvue sur son fond d'une série d'ouvertures circulaires, qui communiquent avec des tubes verticaux *w*. Ces derniers débouchent dans une caisse *y*, qui possède dans sa partie supérieure une ouverture *n* pour la sortie de l'air et communique inférieurement avec une caisse Q, par laquelle l'eau est éconduite. Au-dessus de la gouttière annulaire, se trouve une roue à réaction T, qui est alimentée d'eau par une gouttière G, établie au-dessus. Par suite du mouvement de la roue T, l'eau s'écoulant de ses bras *u*, *u* se vide dans la gouttière *v*, c'est-à-dire alternativement dans les différents tubes, elle descend dans ceux-ci, comprime l'air et le refoule dans la caisse *y*, où a lieu la séparation de l'air et de l'eau. L'air passe dans la conduite de vent *n*, tandis que l'eau arrive dans la caisse et s'en écoule.

La *soufflerie* d'HENSCHÉL (*soufflerie à colonne d'eau*) se compose d'une série de caisses superposées, qui se remplissent *alternativement* d'air et d'eau. L'air est comprimé par l'eau et refoulé dans la conduite du vent. L'espace d'où l'eau s'est écoulé de la caisse est réoccupé par de l'air, qui est à son tour comprimé par de nouvelle eau, et ainsi de suite. Les soupapes qui font communiquer les caisses entre elles ou qui suppriment cette communication sont ouvertes et fermées par une *machine à colonne d'eau*.

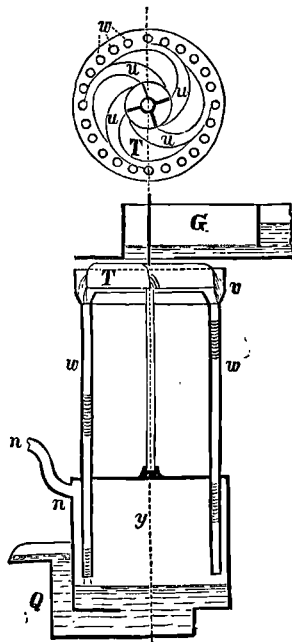


Fig. 587 et 588. — Soufflerie d'Althans.

#### COMPRESSION DE L'AIR A L'AIDE DE SURFACES SOLIDES

Elle a lieu par pression directe sur l'air de corps rigides *mis en mouvement*.

Le mouvement de ces corps rigides est continu ou intermittent.

L'espace dans lequel a lieu la condensation de l'air est limité soit par des corps solides, soit partie par des corps solides, partie par de l'eau. Dans le premier cas, les parois sont soit rigides, soit partie rigides, partie flexibles (soufflets en cuir).

Aux souffleries avec mouvement *continu* des corps compresseurs rigides, appartiennent les différentes souffleries à pistons rotatifs (blowers ou ventilateurs de ROOT, de JÄGER, etc.), le ventilateur hélicoïdal, la cagniardelle et le chapelet ou soufflerie à chaîne.

Aux souffleries à mouvement intermittent des corps compresseurs appartiennent les soufflets, les souffleries à caisse, les souffleries cylindriques, les souffleries à tonneaux et la soufflerie de BAADER ou soufflerie à cloches.

*Souffleries avec mouvement continu des corps compresseurs.*

Ces souffleries produisent un *courant d'air ininterrompu*.

On les distingue en souffleries dont l'espace où a lieu la condensation de l'air est limité par des corps solides, et en souffleries dont cet espace est limité partie par des corps solides, partie par de l'eau. Aux souffleries de la première espèce appartiennent les souffleries à pistons rotatifs et le ventilateur hélicoïdal, à celles de la seconde espèce la cagniardelle et le chapelet.

*Souffleries dont l'espace où a lieu la condensation de l'air est limité par des corps solides.*

*Souffleries à pistons rotatifs.*

Ce sont des souffleries qui déplacent et compriment l'air au moyen de corps rigides, animés d'un mouvement rotatif continu. A ces dispositifs appartiennent les ventilateurs de Root (Root-blower), de JÄGER, la soufflerie hélicoïdale de KRIGAR et IHSENN.

Le *ventilateur de Root (blower)* se compose de deux ailes tournant en sens inverse dans une boîte, autour d'axes parallèles. Sa disposition est

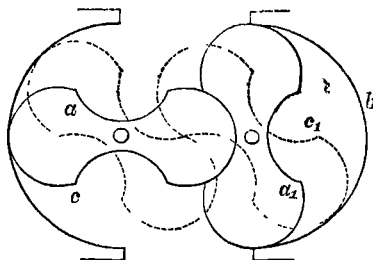


Fig. 589. — Ventilateur de Root (figure schématique).

mise en évidence par les figures 589 et 590. Les ailes s'appliquent exactement l'une contre l'autre dans toute position, de même que sur la paroi de la boîte, de façon à former une fermeture hermétique. Il se produit donc, comme le montre la figure 589, des espaces mobiles clos, qui sont limités par des portions de la paroi de la boîte et des ailes. La paroi de la boîte est interrompue supérieurement et inférieurement par des ouvertures s'étendant dans toute la longueur de la boîte. Si, par suite de la rotation des ailes du piston, les espaces clos dont il vient d'être question viennent à se trouver au-dessous de l'ouverture supérieure, de l'air extérieur rentre dans ces espaces; les ailes continuant leur mouvement de rotation, l'air est entraîné avec les espaces refermés et refoulé par l'ouverture inférieure de la boîte, dans une conduite de vent communiquant avec elle. On peut aussi faire entrer l'air par l'ouverture inférieure et le faire sortir par l'ouverture supérieure. Les ouvertures d'entrée et de sortie du vent peuvent aussi être placées latéralement. En faisant tourner rapi-



dement les ailes, on obtient de cette façon un courant d'air ininterrompu.

Dans la figure 590,  $t$  et  $t'$  sont les ailes. L'air entre par C ; il est poussé par les ailes dans l'espace mentionné entre celles-ci et la paroi de la boîte et les ailes continuant à tourner le refoulent dans le tube abducteur D. Les ailes se composent d'un squelette en fer recouvert de bois. Afin d'obtenir l'herméticité nécessaire entre les surfaces de contact des ailes entre elles et avec la paroi de la boîte, on applique sur toutes les surfaces du graphite ou un mélange de cire et graphite. La pression du vent dépend du nombre de rotations des ailes et de l'herméticité entre les surfaces des ailes et de la paroi de la boîte qui arrivent à se trouver en

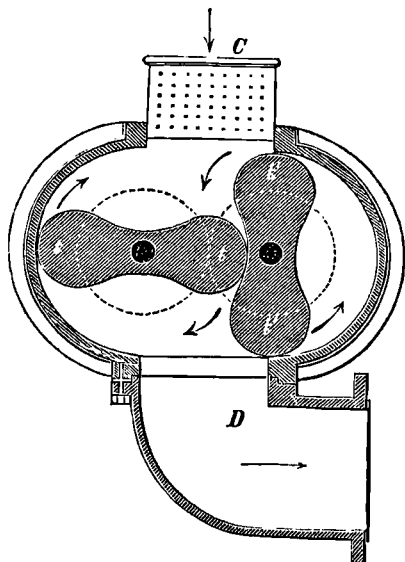


Fig. 590. — Ventilateur de Root.

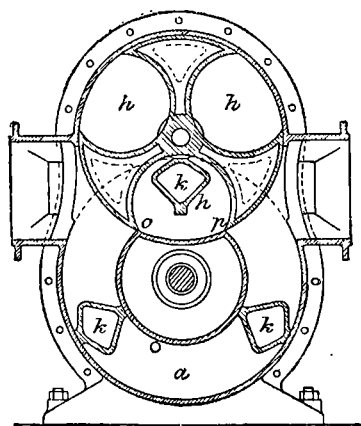


Fig. 591. — Soufflerie à haute pression de Jäger.

contact les unes avec les autres. Cette pression va jusqu'à 50 millimètres de mercure. Le nombre des rotations des ailes varie de 200 à 500 par minute. Le ventilateur est actionné au moyen de poulies et de courroies sans fin.

Le ventilateur de Root présente les avantages suivants : les frais d'établissement sont peu élevés (1/6 de ceux qu'exigent les souffleries cylindriques fournissant les mêmes quantités de vent), avec une plus faible vitesse de rotation des ailes, il produit une pression de vent plus grande que les ventilateurs centrifuges, et son effet utile est bon. Mais avec des tensions trop hautes, son effet utile diminue, parce qu'alors il n'est pas possible d'obtenir une herméticité complète aussi bien entre les ailes qu'entre celles-ci et la paroi de la boîte qui les renferme. •

On emploie ce ventilateur *avec succès* pour les basses et moyennes pressions avec les fours à cuve pour la refonte du fer brut et surtout avec les fours à cuve pour l'extraction du cuivre, du plomb et de l'argent. Indépendamment du ventilateur de Root, on emploie aussi avec succès en Amérique les ventilateurs (blowers) de BAKER et de Mc. KENSIE.

La soufflerie à haute pression de JÄGER, de Leipzig, représente une forme perfectionnée de l'appareil précédent. Sa disposition est mise en évidence par la figure 591. Sur une poulie motrice circulaire sont adaptés trois pistons  $k$ . Ceux-ci se meuvent dans l'espace circulaire  $a$ , qui est formé par les parois de deux cylindres fixes placés l'un dans l'autre. Dans

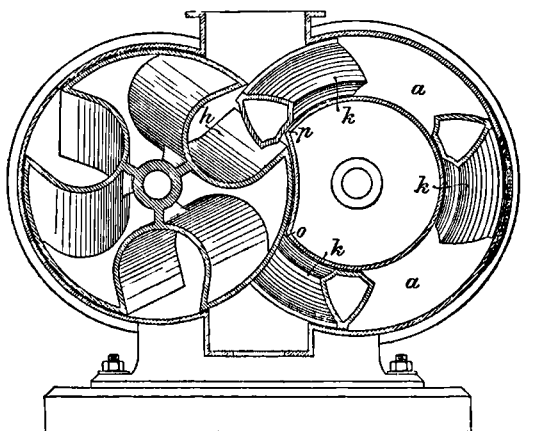


Fig. 592. — Soufflerie hélicoïdale de Krigar.

la partie supérieure de la boîte se trouve un cylindre régulateur rotatif offrant trois cavités  $h, h, h$ . Lors de la rotation du corps portant les pistons et du cylindre régulateur, lesquels sont mus avec un même nombre de tours, au moyen de roues dentées placées extérieurement, les pistons  $k$  arrivent dans les cavités  $h$ . Dans celles-ci, ils sont ramenés du côté de la pression au côté de l'aspiration.

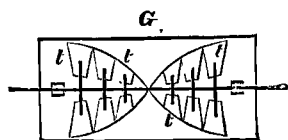


Fig. 593. — Ventilateur hélicoïdal.

Les surfaces convexes du cylindre régulateur assurent l'herméticité avec la surface cylindrique concave fixe  $op$ . En sortant de la cavité  $h$ , le piston  $k$  ferme l'espace annulaire  $a$  du côté du tube d'entrée de l'air et il pousse en avant jusqu'au tube de sortie et ensuite dans ce dernier l'air qui se trouve entre lui et le piston suivant.

La soufflerie hélicoïdale de KRIGAR, qui est représentée par la figure 592, a également trois pistons se mouvant dans l'espace annulaire  $a$  et qui pénètrent dans les cavités  $h$  d'un cylindre régulateur. Toutefois les pistons ne sont pas parallèles à l'axe, mais ils sont disposés dans la direction d'une ligne hélicoïdale à pas allongé. Le cylindre a dans chaque moitié de sa longueur des pistons allant jusqu'au milieu de celle-ci. Ces derniers forment dans une moitié une hélice à spires se dirigeant de droite à gauche et dans l'autre moitié une hélice à spires de direction contraire.

Les ventilateurs hélicoïdaux (fig. 593) se composent d'une vis ou hélice horizontale, ou à la place de celle-ci d'un arbre horizontal, sur lequel plusieurs ailettes  $t, t$  sont disposées de façon qu'elles forment des

parties d'un ou plusieurs pas de vis, la vis ou l'arbre tournant dans une boîte cylindrique G. Lors de la rotation de l'arbre, l'air est refoulé d'un côté de la boîte vers une conduite de vent adaptée sur l'autre côté.

L'effet utile de ces ventilateurs est très faible. C'est pour cela qu'ils ne sont pas employés comme machines soufflantes.

*Souffleries dont l'espace où a lieu la condensation de l'air est limité partie par des corps solides, partie par de l'eau.*

*Cagniardelle.*

Le dispositif de soufflerie appelé *cagniardelle*, du nom de son inventeur CAGNIARD DE LA TOUR, est basé sur le déplacement et la compression de l'air dans un canal rotatif hélicoïdal. Son mode de construction est mis en

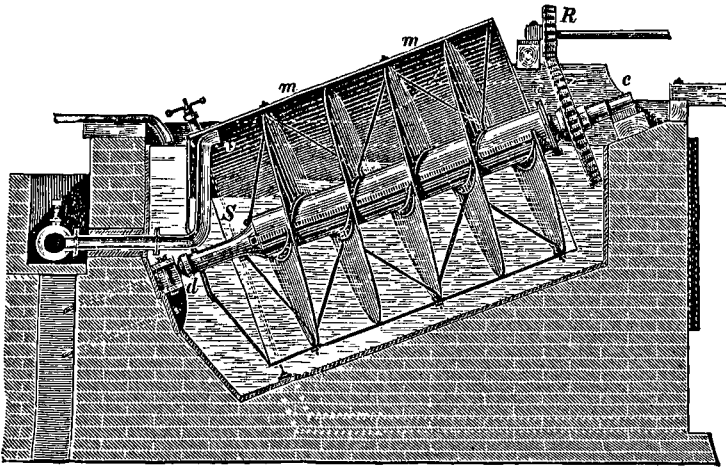


Fig. 594. — Cagniardelle.

évidence par la figure 594. Autour d'un arbre creux en fonte *cd*, incliné de  $20^\circ$ , une plaque en forme d'hélice est enroulée de façon à circonscrire un espace ayant la forme d'un canal hélicoïdal. Cet espace est entouré d'une enveloppe cylindrique *m*, s'appliquant exactement sur la plaque en hélice et tournant avec elle.

Ce dispositif, formé d'un arbre et d'une hélice entouré d'une enveloppe, est plongé en partie dans de l'eau contenue dans un réservoir en fer ou en maçonnerie recouvert d'un enduit de ciment. L'enveloppe cylindrique est ouverte à l'extrémité qui se trouve la plus haute ; à l'extrémité opposée est appliqué un cône tronqué plat, dont les extrémités sont également ouvertes. Par l'ouverture de la petite extrémité passent l'arbre et au-dessus de lui la conduite du vent *S*.

Si, maintenant, on met le dispositif en mouvement, au moyen de la roue dentée *z*, s'engrenant dans la roue *R*, l'embouchure du canal hélicoïdal se trouvera alternativement dans l'eau et au-dessus de celle-ci dans l'air.

L'air qui a pénétré par l'embouchure est enfermé lorsque celle-ci plonge dans l'eau et entraîné par le mouvement du canal hélicoïdal. Lorsque l'embouchure revient au-dessus de l'eau, elle absorbe de nouvel air et l'entraîne de nouveau dans l'eau. Des couches d'air et d'eau sont par conséquent entraînées alternativement dans le canal hélicoïdal. A mesure que l'air avance, il se condense. L'air et l'eau arrivent finalement dans l'espace *v*, où a lieu la séparation des deux corps. L'air passe dans le tube *S*, qui est en communication avec la conduite du vent; l'eau s'écoule dans le réservoir par la petite ouverture du cône. Le cylindre étant soumis à un mouvement ininterrompu, de l'air pénètre donc continuellement dans le tube *S*, tandis que par l'ouverture du cône de l'eau s'écoule sans interruption dans le réservoir. Comme l'air, en parcourant le canal hélicoïdal de son embouchure jusqu'à son autre extrémité, n'est condensé que peu à peu, la tension dans les différentes couches d'air est d'autant plus grande que celles-ci sont plus éloignées de l'embouchure. Le niveau des différentes couches d'eau est aussi, par suite, d'autant plus bas que celles-ci sont plus rapprochées de l'extrémité inférieure du cylindre.

La meilleure matière à employer pour la construction de la surface hélicoïdale est le cuivre, pour celle de l'enveloppe la fonte.

L'effet utile de la cagniardelle s'élève à 88-90 p. 100. La pression du vent va jusqu'à 65 millimètres de mercure.

Bien que la cagniardelle fournisse un effet utile élevé, qu'elle produise un courant ininterrompu, qu'elle ne nécessite que peu de force pour sa mise en mouvement et que sa construction soit assez simple, elle n'est cependant que rarement employée, parce qu'elle fournit du vent humide, qu'elle est difficile à établir et qu'elle ne permet pas d'obtenir de hautes pressions de vent (au-dessus de 65 millimètres de mercure). Elle est encore employée çà et là dans l'extraction du cuivre, de l'argent et du plomb au four à cuve, ainsi que pour le soufflage du vent sous les grilles.

La soufflerie à roue à godets, maintenant inusitée à cause de son faible effet utile, avait un mode d'action analogue à celui de la cagniardelle.

#### *Soufflerie à chaîne ou chapelet.*

Dans ce dispositif, l'eau non seulement sert pour la fermeture de l'espace où a lieu la condensation de l'air, mais encore agit comme moteur.

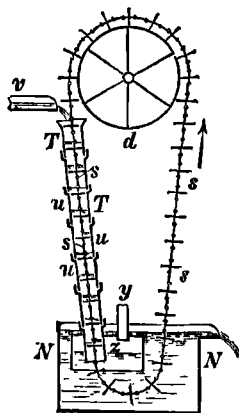


Fig. 595. — Soufflerie à chaîne ou chapelet.

Le chapelet est représenté par la figure 595. C'est une chaîne sans fin roulant sur une roue *d* et sur laquelle se trouvent à certaines distances des disques *s*, formés de deux clapets.

Une partie de la chaîne se meut dans le tuyau *T*, qui débouche dans une caisse *z*, ouverte inférieurement et munie supérieurement d'un tube à vent *y*. La caisse *z* est fixée dans une caisse plus grande *N*, remplie d'eau.

Un courant d'eau amené par une gouttière *v* coule dans le tuyau *T*. L'eau tombe sur les disques *s* et, comme ces derniers, occupent la section presque tout entière du tuyau, elle communique par son poids à la chaîne sans fin un mouvement ininterrompu. L'afflux de l'eau est dirigé de façon que l'espace *u*, qui se trouve entre les disques, ne soit que partiellement rempli par le liquide, de telle sorte qu'il y reste toujours une certaine quantité d'air. Cet air est par suite entraîné jusque dans la caisse *z*. Lorsque les disques plongent dans l'eau contenue dans cette dernière, les clapets qui les forment s'ouvrent de bas en haut, l'air se dégage alors à l'état comprimé dans la partie supérieure de la caisse *z*, et de celle-ci il passe dans la conduite de vent *y*, tandis que l'eau reste dans la caisse *N*.

Cette soufflerie a, il est vrai, un bon effet utile (60 p. 100), mais elle exige une chute d'eau élevée (10 mètres), elle nécessite beaucoup de réparations et fournit du vent humide. Pour ces raisons, elle n'est plus employée.

#### *Souffleries avec mouvement intermittent des corps compresseurs.*

Ces souffleries ne fournissent pas un courant d'air continu. Des dispositions, pour transformer le courant d'air intermittent en courant continu de même tension, sont par conséquent nécessaires.

On distingue aussi ces souffleries en souffleries dont l'espace pour la condensation de l'air est limité par des corps solides et en souffleries dans lesquelles cet espace est limité partie par des corps solides, partie par de l'eau.

Aux souffleries de la première espèce appartiennent les soufflets, les souffleries à caisses et les souffleries cylindriques ; à celles de la seconde espèce appartiennent les souffleries à tonneaux et la soufflerie de BAADER ou à cloches.

#### *Souffleries dans lesquelles l'espace pour la condensation de l'air est limité par des corps solides.*

On distingue dans cette catégorie les souffleries dont l'espace pour la condensation de l'air est limité partie par des corps flexibles, partie par des corps rigides et celles dont l'espace pour la condensation de l'air n'est limité que par des corps rigides. Aux souffleries de la première espèce appartiennent les soufflets en cuir, à celles de la seconde le soufflet pointu en bois, les souffleries à caisses et les souffleries cylindriques.

#### *Soufflets en cuir.*

Les soufflets en cuir reposent sur le principe des soufflets ordinaires. Deux plaques, réunies par une sorte de poche en cuir plissé, sont alternativement rapprochées et éloignées l'une de l'autre. Lorsqu'on éloigne les plaques l'une de l'autre, l'air pénètre par une soupape dans l'espace qui existe entre elles, tandis que lorsqu'on les rapproche, l'air est comprimé et refoulé par une buse ou une soupape. Comme l'air sort par saccades, ces soufflets doivent être pourvus de dispositifs qui transforment le courant de vent s'échappant par saccades en un courant continu. Le mou-

vément des plaques compressives est un mouvement rotatif ou un mouvement en ligne droite ; le soufflet est appelé dans le premier cas *soufflet pointu*, dans le second *soufflet cylindrique*.

### *Soufflets pointus.*

Ils sont à simple effet ou à double effet.

Le *soufflet pointu à simple effet* (fig. 596) se compose du soufflet proprement dit P et du dispositif Q destiné à produire un courant de vent uniforme, que l'on désigne sous le nom de *réservoir* ou de *régulateur*. Le soufflet proprement dit est formé de la plaque mobile ou fond *u*, du cuir et du couvercle immobile *w*, qui forme en même temps le fond du réservoir. Le fond du soufflet est muni de la soupape à clapet *k*, s'ouvrant de dehors ou dedans, et dans le couvercle se trouve l'autre soupape à

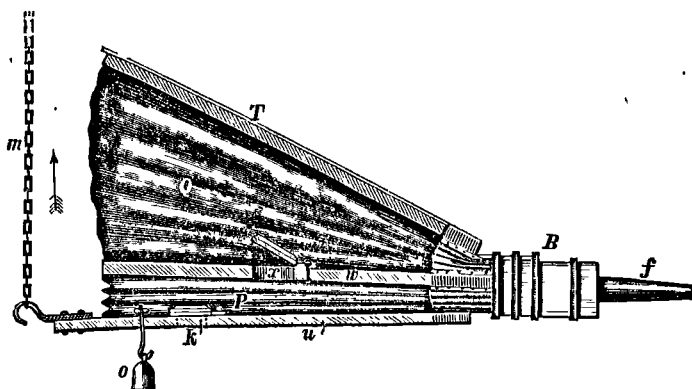


Fig. 596. — Soufflet en cuir pointu à simple effet.

clapet *x*, s'ouvrant dans le réservoir. Le réservoir se compose du fond, du cuir, du couvercle T et de la tête perforée B, qui porte la buse *f*. Le fond du soufflet peut, au moyen d'une force agissant sur la chaîne *m*, être rapproché du couvercle, tandis que lorsque l'action de cette force cesse, un contre-poids *o* le tire par en bas. Si maintenant le fond *u* est rapproché du couvercle *w*, l'air qui se trouve dans le soufflet est pressé et refoulé par la soupape *x* dans le réservoir Q. Si au contraire le fond s'écarte du couvercle, la soupape *k* s'ouvre et l'air pénètre dans le soufflet. Cet air, par le mouvement inverse du fond est refoulé dans le réservoir, et ainsi de suite. Le réservoir a une capacité au moins double de celle du soufflet. Dès qu'il est rempli, l'air peut s'en échapper sans interruption, en traversant la tête perforée du soufflet et la buse. En chargeant plus ou moins le couvercle du réservoir avec des poids, on peut régler à volonté la pression du vent.

Le *soufflet pointu à double effet* se compose de deux soufflets et d'un réservoir. dans lequel le vent est refoulé par une plaque mobile, que celle-ci se meuve de bas en haut ou de haut en bas.

Il est représenté par les figures 597 et 598. *a* est l'un des soufflets,

*b* l'autre soufflet et *r* le réservoir. Le couvercle du soufflet *a* est en même temps le fond du soufflet *b* et le couvercle du soufflet *b* le fond du réservoir *r*. Le couvercle ou le fond *v* est fixé à la paroi en bois *H* au moyen de charnières et peut être soulevé et abaissé par une force agissant en *m*. Le fond *w* du soufflet *a* et le couvercle du soufflet *b*, c'est-à-dire le fond du réservoir *r*, sont immobiles. Le couvercle *x* du réservoir est mobile.

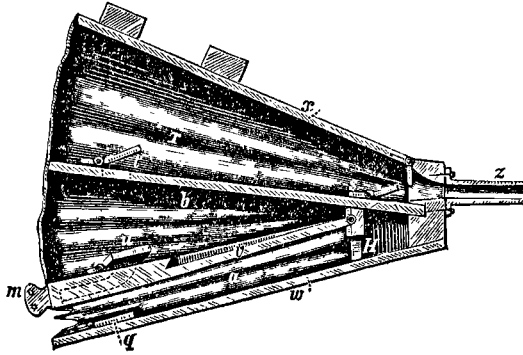


Fig. 597. — Soufflet en cuir pointu à double effet; coupe verticale et longitudinale.

L'air pénètre dans le soufflet *a* par une soupape *q* qui se trouve dans son fond, tandis qu'il en sort par une soupape *s* placée dans le couvercle prolongé du soufflet *b*, c'est-à-dire dans le fond du réservoir *r*. L'entrée de l'air dans le soufflet *b* a lieu par un canal pratiqué dans son fond, communiquant avec l'air extérieur et muni de la soupape *u*, l'ouvrant et le fer-

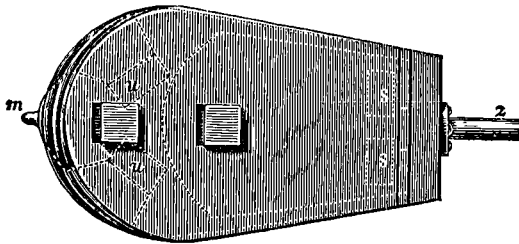


Fig. 598. — Soufflet en cuir pointu à double effet; vue supérieure.

mant, tandis que la sortie de l'air du soufflet a lieu par la soupape *t*, qui se trouve dans son couvercle, c'est-à-dire dans le fond du réservoir *r*. La sortie de l'air de ce dernier, dont le couvercle *x* est chargé de pierres, s'effectue par la buse *z*.

Si, maintenant, à l'aide d'une force agissant en *m*, la plaque *v* est remontée, l'air entre par la soupape *q* dans le soufflet *a*, tandis qu'en même temps l'air qui se trouve dans le soufflet *b* est condensé et refoulé par la soupape *t* dans le réservoir *r*. Lorsque la plaque *v* est abaissée, l'air contenu dans le soufflet *a* est refoulé par la soupape *s* dans le réservoir, pendant que par la soupape *u* de l'air pénètre dans le soufflet *b*. L'air

ainsi refoulé dans le réservoir par la plaque mobile, dans ses mouvements ascendant et descendant, s'échappe par la buse  $z$ .

### *Soufflet cylindrique.*

Le *soufflet cylindrique* se compose du soufflet proprement dit et du réservoir ou régulateur.

Le soufflet est formé de deux plaques de bois circulaires, reliées entre elles par un manchon en cuir plissé et dont l'une peut être rapprochée et écartée de l'autre. La plaque mobile porte la soupape pour l'entrée de l'air dans le soufflet, la plaque fixe la soupape pour sa sortie de ce dernier et son entrée dans le régulateur, qui se compose également de plaques circulaires réunies entre elles par un manchon en cuir; sa plaque inférieure fixe forme également le couvercle du soufflet. La plaque supérieure du régulateur est mobile et chargée de pierres. Les soufflets cylindriques peuvent être à simple ou à double effet.

La disposition d'un soufflet cylindrique à simple effet est mise en évidence par la figure 599.

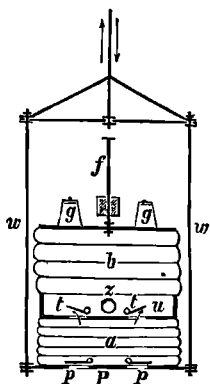


Fig. 599. — Soufflet cylindrique.

$a$  est le soufflet,  $b$  le régulateur;  $P$  est le fond

mobile,  $u$  le couvercle fixe du soufflet. Ce dernier est pourvu de rebords saillants, par lesquels il est fixé sur le cadre entourant le soufflet;  $p, p$  sont les soupapes pour l'entrée de l'air dans ce dernier,  $t, t$  les soupapes pour la sortie de l'air du soufflet et son entrée dans le régulateur. Le fond mobile  $P$  est remonté et abaissé au moyen des tirants  $w, w$ . Dans le mouvement ascendant, l'air contenu dans le soufflet est refoulé dans le régulateur, tandis que, lors du mouvement descendant, de l'air est aspiré.

Sur le fond du régulateur est adapté un cylindre en bois qui est muni d'une ouverture  $z$ , par laquelle l'air se dégage du régulateur dans la conduite du vent. Sur le couvercle chargé de poids du régulateur est fixée, pour guider les mouvements de ce dernier, une tige  $f$  traversant une pièce de bois.

Les soufflets en cuir (soufflets pointus et soufflets cylindriques) n'ont qu'un faible effet utile et la pression du vent qu'ils fournissent ne dépasse pas 17 millimètres de mercure. Le cuir est facilement endommagé, surtout par l'humidité et la chaleur, et il exige par suite de fréquentes réparations.

Pour ces raisons, les soufflets en cuir ne sont plus actuellement employés que pour l'alimentation des feux de forge et des fours à réchauffer, mais ils servent encore dans les pays non cultivés pour la fonte des minerais de plomb et de cuivre dans des fours à cuve.

### *Soufflets pointus en bois.*

Les *soufflets pointus en bois* sont des soufflets de la forme des soufflets pointus en cuir, mais dans lesquels le cuir est remplacé par du bois.



Ils se composent soit d'une plaque fixe et d'une caisse en bois mobile, soit d'une caisse en bois fixe et d'une plaque mobile.

Un soufflet pointu de la première espèce est représenté par la figure 600.

$p$  est la plaque de bois fixe, munie d'une soupape d'aspiration  $q$  et à laquelle est fixée à demeure la tête du soufflet.

Au-dessus de cette plaque est adaptée une caisse en bois  $H$ , qui se compose d'une plaque de bois trapézoïde  $z$ , de deux plaques latérales fixées pendiculairement à sa surface et d'une paroi postérieure courbe

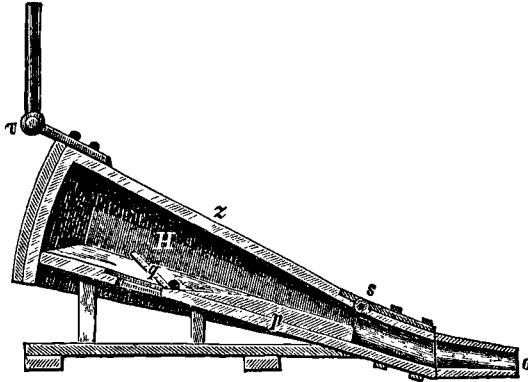


Fig. 600. — Soufflet en bois.

également fixée à la plaque  $z$ . Cette dernière peut tourner autour d'une charnière  $s$ , fixée à la tête du soufflet, de telle sorte que la boîte tout entière peut être relevée ou abaissée. Pour obtenir une fermeture aussi hermétique que possible entre les parois latérales de la boîte et la plaque fixe  $p$ , cette dernière est munie d'une garniture composée de bandes de bois mobiles, qui sont appliquées contre les parois latérales de la caisse au moyen de ressorts en acier. Dans la tête du soufflet est fixée une soupape s'ouvrant de dedans en dehors. Si maintenant on soulève la boîte, l'air y pénètre par la soupape  $q$ , tandis que lorsqu'on l'abaisse, l'air est condensé et refoulé par la buse  $o$ , adaptée sur la tête du soufflet.

Dans le soufflet pointu avec *boîte immobile*, la tête du soufflet est fixée à demeure avec la boîte et la plaque de fond mobile peut tourner autour d'une charnière vissée sur la tête du soufflet. Ces soufflets sont appelés *soufflets à queue* ou *soufflets de WINDHOLM* (parce que de la France, où ils furent d'abord employés, ils ont été importés en Suède par WINDHOLM).

A cause du grand poids de la partie mobile et de l'énorme frottement de celle-ci, les soufflets en bois exigent pour leur manœuvre beaucoup plus de force que les soufflets en cuir, sans atteindre le rendement de ces derniers. C'est pour cela qu'actuellement ils ne sont plus employés.

#### *Souffleries à caisse.*

Comme le montrent les figures 601 et 602, ce dispositif se compose d'une caisse en bois  $H$ , à section rectangulaire ou carrée et ouverte infé-

rièvement, dans laquelle se meut de haut en bas et de bas en haut un piston *k*. Ce dernier, qui est formé de deux couches superposées de planches épaisses placées en croix, est muni de deux soupapes *v, v*, s'ouvrant vers l'intérieur de la caisse. La fermeture hermétique entre le piston et les parois de la caisse est assurée au moyen d'une garniture en cuir. Dans le couvercle de la boîte se trouve la soupape de refoulement *w*, par laquelle l'air pénètre dans la conduite du vent *z*. Lorsque le piston se meut de haut en bas, l'air pénètre dans la caisse par les soupapes *v, v* et lorsqu'il se meut de bas en haut, l'air est refoulé par la soupape *w*

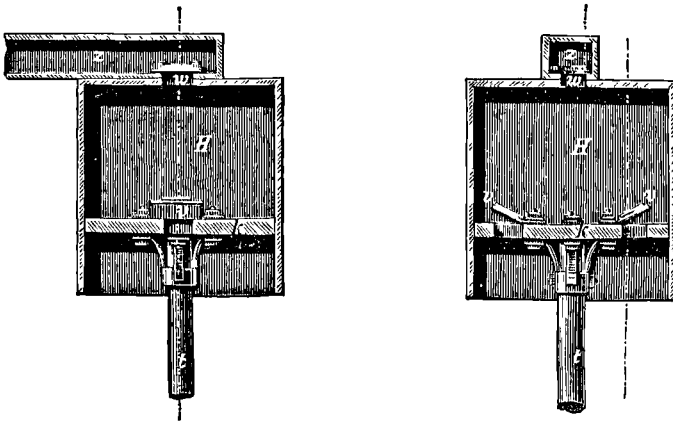


Fig. 601 et 602. — Soufflerie à caisse.

dans la conduite du vent. Pour obtenir un courant d'air uniforme, on fait arriver le vent de plusieurs souffleries à caisse dans un conduit commun. La soufflerie peut aussi être disposée pour double effet, dans lequel cas le bois doit être remplacé par du fer. Mais au lieu de souffleries à caisse à double effet, il est préférable d'avoir recours aux souffleries cylindriques.

L'effet utile des souffleries à caisse est égal à 70 p. 100. La pression de vent qu'elles donnent s'élève à 150 millimètres de mercure. Au-dessus de cette pression, les pertes de vent sont trop grandes.

Elles sont maintenant généralement remplacées par les souffleries cylindriques.

#### Souffleries cylindriques.

Ces dispositifs dérivent des souffleries à caisse. Ils trouvent emploi dans tous les cas où il est nécessaire que le vent ait une haute pression, ce qui a lieu notamment pour la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux, du fer fondu dans les convertisseurs ou dans les fours suédois, ainsi que pour celle du cuivre au convertisseur.

La soufflerie cylindrique se compose essentiellement d'un cylindre en fonte creux, fermé et muni à ses extrémités d'ouvertures d'entrée et de sortie pour l'air, et dans lequel l'air est aspiré et condensé par le mouve-

ment de va-et-vient d'un piston. Si lors du mouvement en avant du piston il est seulement aspiré de l'air et si lors du mouvement en arrière il est seulement condensé de l'air, la soufflerie est à *simple effet*. Si, au contraire, aussi bien lors du mouvement en avant du piston que lors de son mouvement en arrière, il y a d'un côté du piston aspiration et de l'autre côté condensation d'air, la soufflerie est à *double effet*.

Les souffleries à simple effet ne sont plus maintenant qu'exceptionnellement employées. Comme le cylindre ne possède qu'un couvercle, la garniture du piston peut être plus facilement renouvelée qu'avec les souffleries à double effet.

Le principe de la soufflerie à double effet est mis en évidence par la figure 603. Dans le cylindre  $w$ , se meut le piston  $p$ . Dans les deux couvercles du cylindre sont établies des soupapes d'aspiration  $a$  et  $a'$  et des soupapes de refoulement  $b$  et  $b'$ . Les soupapes d'aspiration sont en communication avec l'air, tandis que les soupapes de refoulement s'ouvrent dans un espace  $R$ , où s'accumule l'air condensé et duquel il passe dans la conduite du vent  $z$ . Si maintenant le piston se meut suivant la direction des flèches, les ouvertures  $a$  et  $b'$  sont fermées, tandis que  $a'$  et  $b$  sont ouvertes. Par  $a'$ , de l'air est aspiré dans le cylindre, tandis que par  $b$  de l'air est refoulé dans la boîte à vent  $R$  ou la conduite  $z$ . Si le piston se meut en sens inverse,  $a'$  et  $b$  sont fermées, tandis que  $a$  et  $b'$  sont ouvertes. De l'air entre alors par  $a$  dans le cylindre, tandis que l'air aspiré lors de la marche en avant du piston est refoulé par  $b'$  dans la boîte à vent.

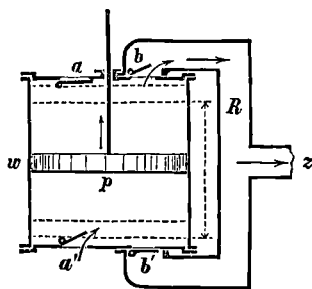


Fig. 603. — Soufflerie cylindrique à double effet (figure schématique).

On emploie comme moteurs des machines à vapeur, des machines à gaz (qui sont actionnées par l'explosion de gaz de hauts fourneaux), des roues hydrauliques ou des turbines.

Le mouvement du piston doit s'effectuer de façon que celui-ci se rapproche aussi près que possible des couvercles du cylindre, afin que l'espace qui reste entre ceux-ci et la surface du piston, espace qui réduit le rendement de la soufflerie et que l'on désigne sous le nom d'espace nuisable, soit aussi restreint que possible. Pour atteindre ce but, le mieux est de relier la tige du piston directement ou indirectement avec la manivelle d'un arbre rotatif. On donne alors au piston une longueur de course invariable déterminée par la longueur de la manivelle, de façon qu'il puisse se rapprocher du couvercle du cylindre en ne laissant entre sa surface et ce dernier qu'un très petit intervalle. Afin d'entraîner la manivelle arrivée au point mort et rendre la rotation aussi uniforme que possible, on adapte un volant sur l'arbre, lorsqu'on se sert de la vapeur. Dans le cas où l'on emploie l'eau comme force motrice, le volant est remplacé par la roue hydraulique.

A défaut d'arbre de couche, il faut, pour empêcher le couvercle du cylindre d'être endommagé, renverser la marche du piston à une cer-

taine distance des couvercles du cylindre, ce qui donne naissance à un grand espace nuisible, ou bien limiter la course du piston par un butoir très résistant, ce qui donne lieu à des secousses. C'est pour cela que depuis quelque temps on emploie à peu près exclusivement des arbres de couche.

La *longueur de course* du piston peut avec des cylindres verticaux être plus grande qu'avec des cylindres horizontaux. Avec ces derniers, la tige du piston peut être facilement courbée et d'autant plus facilement que la course est plus longue. Avec une course de faible longueur, la vitesse du piston est plus grande. Par suite de cela, le nombre des changements de course est aussi plus grand, ce qui fait, à cause de l'espace nuisible, que le rendement de la machine soufflante est plus faible. Avec les grandes machines soufflantes à cylindre vertical, on donne au piston une longueur de course allant jusqu'à 3 mètres; dans les grandes machines avec cylindre horizontal on va jusqu'à 2 mètres.

On ne donne pas au piston une *vitesse* trop grande, parce que les avantages d'une grande vitesse du piston pour une quantité de vent déterminée — diamètre plus petit du cylindre soufflant, construction plus facile et établissement moins coûteux de la machine tout entière, suppression du danger de la courbure de la tige du piston avec les machines horizontales — sont contrebalancées par de grands inconvénients — fermeture imparfaite des soupapes, agrandissement de l'espace nuisible et danger de la détérioration des organes de la machine, par suite de la vitesse de la marche. C'est pour cela que l'on ne donne pas au piston une vitesse supérieure à 1,5 mètre par seconde; on n'emploie des vitesses allant jusqu'à 2,5 mètres que pour les souffleries des appareils Bessemer.

#### *Organes essentiels de la soufflerie cylindrique proprement dite.*

Comme on l'a déjà dit, le *cylindre* est en fonte. Lorsque le vent doit avoir une haute tension (1-2 atmosphères, comme pour les souffleries des convertisseurs Bessemer), il est entouré d'une enveloppe ou manteau en tôle, disposé de telle sorte qu'il reste un espace dans lequel on puisse faire circuler de l'eau pour le refroidissement du cylindre. Sur le cylindre proprement dit sont fixés au moyen de vis, de façon à produire des fermetures hermétiques, le couvercle et le fond. Les ouvertures d'entrée et de sortie du vent sont ménagées dans le couvercle et le fond du cylindre. Ce n'est qu'avec les machines marchant rapidement, qui exigent des soupapes à grande section, que l'on est obligé d'établir ces ouvertures dans l'enveloppe du cylindre. L'espace nuisible est ainsi agrandi et le rendement de la machine diminué.

Un cylindre horizontal de l'espèce indiquée en premier lieu est représenté par la figure 604.

Le *diamètre* et la *longueur* du cylindre sont plus petits dans les appareils horizontaux que dans les appareils verticaux. Dans les cylindres horizontaux, la moitié inférieure de ceux-ci a à supporter le poids du piston et est par suite usée *rapidement* par le piston se mouvant en direction horizontale. Plus le diamètre du cylindre est grand, plus est grand le poids du piston et par suite aussi plus est grande l'usure de la paroi infé-

rieure du cylindre. Afin d'atténuer autant que possible cet inconvénient,

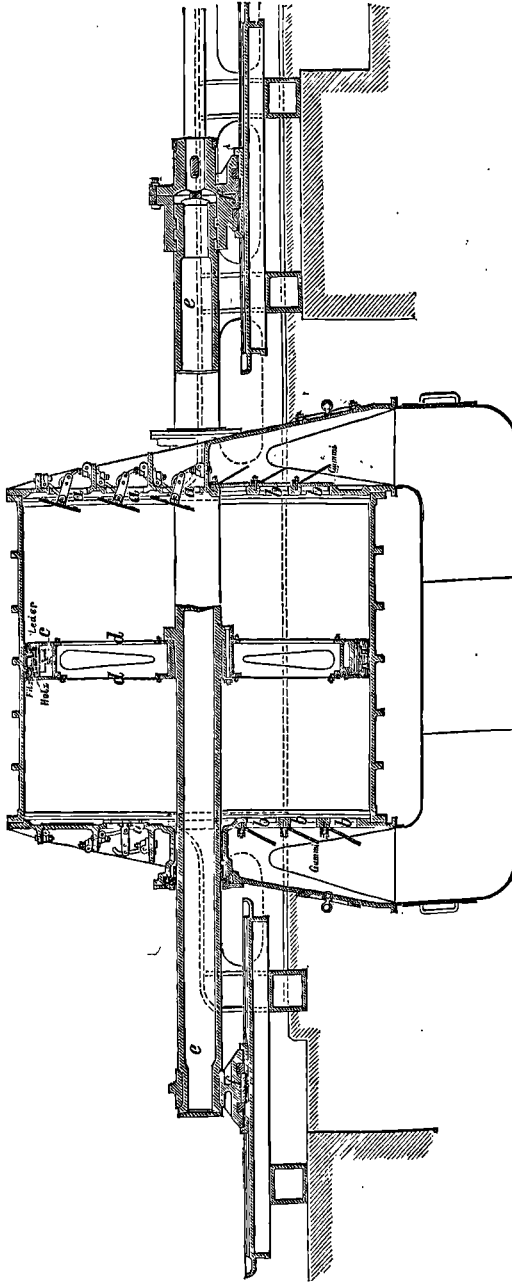


Fig. 604. — Soufflerie à cylindre horizontal.

on ne donne que rarement au cylindre plus de 2,25 mètres de diamètre. En outre, avec les cylindres horizontaux, la tige du piston est beaucoup

plus exposée à se courber qu'avec les cylindres verticaux et d'autant plus que la longueur du cylindre soufflant est plus grande. C'est pour cela que, comme on l'a déjà dit, on ne donne guère au piston une longueur de course supérieure à 2 mètres. Dans les cylindres horizontaux, le rapport de cette longueur au diamètre du cylindre varie de  $\frac{4}{5}$  à  $\frac{3}{6}$ , il est même parfois égal à  $\frac{1}{1}$ .

Avec les cylindres verticaux, les inconvénients qui viennent d'être signalés disparaissent. C'est pour cela qu'on peut leur donner un diamètre et une longueur plus grands. Dans les grandes machines, le diamètre du cylindre va jusqu'à 3,5 mètres, la longueur de la course jusqu'à 3 mètres.

Le *piston* est en fonte ou en fer doux. La figure 605 représente un disque, qui dans son milieu est muni d'un moyeu pour la fixation de la

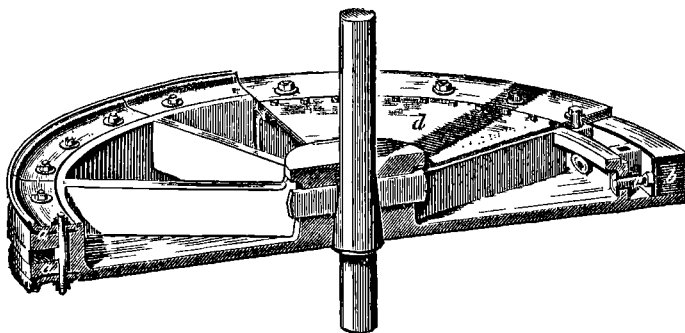


Fig. 605. — Piston de soufflerie cylindrique; disposition générale.

tige du piston. Du moyeu partent des rayons aboutissant à une couronne en fonte, sur le côté extérieur de laquelle est adaptée la garniture. Afin de restreindre l'espace nuisible, on remplit les vides entre les rayons avec du bois, ou bien on ferme ce côté du piston au moyen de plaques de fonte *d*. Pour la même raison, on évite aussi les objets saillants, par exemple des têtes de vis à la surface du piston. Afin d'éviter, avec les cylindres horizontaux, les inconvénients d'un piston trop lourd (usure de la partie inférieure du cylindre et de la garniture), on construit les pistons *aussi légers que possible*. C'est pour cela que l'on emploie la *tôle de fer* aussi bien pour leur couvercle que pour leur plaque de fond ou bien que l'on donne au corps du piston, qui doit être en fer doux, la forme d'une étoile de roue, et on couvre celle-ci des deux côtés avec des disques de tôle. Les tiges des pistons doivent être construites aussi robustes que possible. Pour les cylindres horizontaux, elles devront, pour être autant que possible préservées des causes pouvant amener leur courbure, traverser les deux couvercles du cylindre et glisser dans des coulisses particulières. Avec les grandes souffleries, on emploie pour la même raison des tiges creuses, comme le montre la figure 604. Pour obtenir une fermeture hermétique entre la tige du piston et les parois de l'orifice par lequel elle traverse le couvercle du cylindre, on adapte dans cet orifice une boîte à étoupe disposée comme celle des machines à vapeur.

La *garniture* du piston est formée de cuir, de chanvre, de toile, de bois dur ou d'un métal. Pour les pistons des souffleries cylindriques horizontales, les souffleries Bessemer horizontales exceptées, on n'emploie *pas* de garniture métallique, parce qu'une pareille garniture rend beaucoup plus rapide l'usure de la paroi inférieure du cylindre (par suite de la charge plus grande de cette paroi par le poids du piston). Avec les souffleries Bessemer verticales, par lesquelles il est produit une pression allant jusqu'à 2,5 atmosphères, on emploie au contraire, à cause de l'échauffement des parois du cylindre, une garniture métallique. Ici, cependant, l'usure n'est plus aussi grande qu'avec les souffleries des fours à cuve, parce que les souffleries Bessemer ne travaillent jamais que périodiquement et toujours pendant peu de temps seulement.

Un piston avec *garniture en cuir* est représenté par les figures 606 et 607. *v, v* sont des disques de cuir, qui se joignent en *z* ; il sont main-

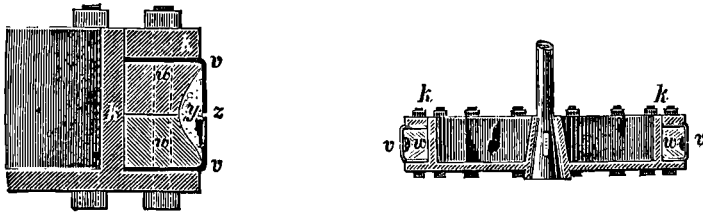


Fig. 606 et 607. — Piston avec garniture en cuir.

tenus au moyen des disques de bois annulaires *w, w* et d'un anneau en fonte ou en bois fixé à l'aide de vis (l'obturateur *k*). *y* est un espace destiné à recevoir de la laine, qui refoule le cuir sur la paroi du cylindre.

Une garniture formée de rebords en cuir, désignée par *a*, est représentée dans la figure 605. Dans la même figure, on voit aussi une *garniture* qui se compose d'*anneaux de toile à voile collés les uns sur les autres*. Ici, *b* est la garniture ; *c, c* sont des vis de réglage placées à une certaine distance les unes des autres, au moyen desquelles l'anneau en toile est pressé contre la paroi du cylindre. A l'aide de ces vis, l'anneau est repoussé au fur et à mesure de son usure.

Les *garnitures métalliques*, qui trouvent emploi dans les souffleries Bessemer et pour les pistons qui se meuvent dans des cylindres verticaux, sont des anneaux ajourés au laiton, en acier ou en fonte, qui par leur propre élasticité, au moyen de ressorts ou par le vent comprimé (qui par des canaux spéciaux passe derrière les anneaux) sont poussés contre la paroi du cylindre.

Le graphite en poudre fine est la substance la plus convenable pour le graissage du piston. On le place devant la soupape d'aspiration et on le laisse entraîner par l'air entrant dans le cylindre. Les garnitures métalliques n'ont pas en général besoin d'être graissées, lorsque la pression de la garniture et la vitesse du piston ne sont pas démesurément grandes.

Les *ouvertures d'entrée et de sortie du vent* se trouvent dans les fonds du cylindre. On n'établit dans l'enveloppe du cylindre que de très grandes ouvertures comme celles qui sont nécessaires pour les machines à

marche rapide; mais alors, comme on l'a déjà dit, l'espace nuisible est agrandi.

Les ouvertures d'entrée du vent sont plus grandes que les ouvertures de sortie. Les soupapes qui les ferment sont des soupapes à guide ou des soupapes à clapet. Ces dernières sont les plus employées. Des soupapes à registre, à glissement ou à rotation, recevant leur mouvement du moteur, ne sont que rarement employées. Des soupapes à plaques faisant ressort sont usitées pour les souffleries à marche rapide. La section des soupapes d'aspiration s'élèvera, avec les pistons à marche lente, à  $1/6-1/8$  de la surface du piston, avec les pistons à marche rapide à  $1/3-1/5$  de cette surface. La section de la soupape de refoulement est égale dans le premier cas à  $1/10$  de la surface du piston, dans le second à  $1/6$  et au-dessous.

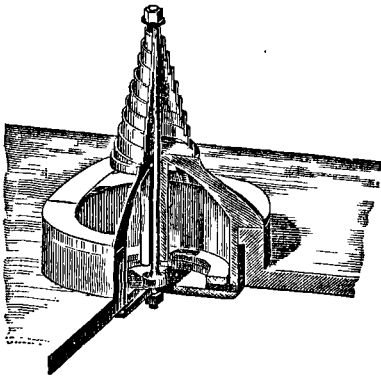


Fig. 608. — Soupape guidée avec ressort à boudin.

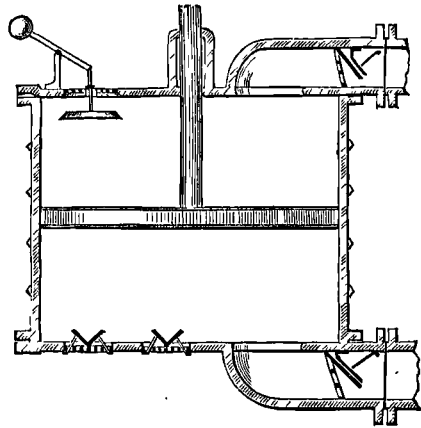


Fig. 609. — Soupape guidée avec contrepoids.

Les *soupapes à guide* sont des disques métalliques dont le bord est garni de feutre, de cuir ou de caoutchouc assurant la fermeture hermétique. Comme lorsqu'elles s'ouvrent, elles s'éloignent entièrement de leur siège, elles sont munies d'un guide et ramenées sur leur siège par des ressorts ou des contrepoids.

Une soupape guidée avec ressort à boudin est représentée par la figure 608, tandis que la figure 609 représente une soupape de la même espèce avec contrepoids.

Des disques en feutre, en cuir ou en caoutchouc battant sur des disques métalliques ajourés forment le passage des soupapes guidées aux soupapes à clapet. Dans ce cas, la fermeture est produite par le poids propre des disques ou par la pression de l'air. Une pareille soupape est représentée par la figure 610.

Les *soupapes à clapet proprement dites* sont ordinairement des clapets en cuir, qui sont placés entre deux plaques de plomb et dont l'herméticité est assurée à l'aide de feutre. Si elles sont tant soit peu grandes, elles battent sur une grille ajourée et se ferment également par leur propre poids ou par la pression de l'air. Le mouvement de bas en haut est limité



par un dispositif particulier. Pour les *souffleries horizontales*, on emploie presque sans exception des soupapes à clapets, comme le montre la figure 604. Elles sont suspendues aux deux couvercles des

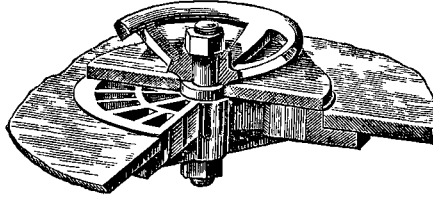


Fig. 610. — Soupape à disque métallique ajouré et disque en feutre, en cuir ou en caoutchouc.

cylindres et leur siège est établi dans des ouvertures particulières de ces derniers.

Dans les *souffleries verticales*, on emploie également des *soupapes à clapet* pour les ouvertures de refoulement, tandis que comme soupapes d'aspiration, surtout avec de hautes pressions, on se sert de *soupapes guidées*.

Les soupapes des souffleries Bessemer, *formées d'anneaux en caoutchouc*, qui étaient autrefois fréquemment usitées, se sont montrées peu résistantes.

#### *Disposition du cylindre soufflant.*

D'après la position de l'axe du cylindre soufflant, on distingue les souffleries verticales, les souffleries horizontales et les souffleries oscillantes.

Avec les *machines verticales*, un balancier est nécessaire ou la machine motrice doit se trouver au-dessus ou au-dessous du cylindre soufflant.

Les machines à balancier occasionnent des frais d'établissement *très élevés*, à cause de l'étendue de l'espace qu'elles exigent et de la nécessité d'une fondation construite avec le plus grand soin, et elles sont difficiles à surveiller et à entretenir.

Lorsque le cylindre soufflant est placé *au-dessus* ou *au-dessous* de la machine motrice ou de l'arbre de couche, une fondation coûteuse est nécessaire, par suite de l'extension de la construction en hauteur. Les poids des organes mobiles (piston, tige du piston, bielle directrice) doivent être compensés, si plusieurs cylindres ne travaillent pas en même temps.

Avec les *souffleries horizontales*, un balancier n'est pas nécessaire et tous ses organes se trouvent à une faible distance du sol. Il n'est pas par suite besoin d'une fondation aussi solide que pour les machines verticales, ce qui réduit les frais d'établissement. La surveillance et l'entretien sont bien plus commodes qu'avec les souffleries verticales. Mais elles ont aussi des inconvénients. En effet, le poids du piston ne charge que la partie inférieure du cylindre et la tige du piston est exposée au danger de se courber. Par suite de cela, le diamètre du cylindre et la longueur de la course du piston sont limités à certaines dimensions. Comme on l'a déjà dit précédemment, on peut atténuer les inconvénients en question, en

construisant le piston aussi léger que possible, en employant pour ce dernier une tige robuste et creuse, afin de l'empêcher de se courber, en la faisant passer à travers les deux fonds du cylindre et la faisant glisser de chaque côté de ce dernier dans de larges coulisses à chariot.

Dans les *souffleries oscillantes*, désignées aussi sous le nom de *branleuses*, le cylindre est mobile autour de deux tourillons venus de fonte avec le cylindre lui-même ou vissés sur lui et reposant dans des coussinets. Le mouvement est transmis au moyen d'un arbre à manivelle, qui peut être directement relevé avec la bielle. Ces souffleries demandent peu d'espace, mais elles exigent une solide fondation et elles ont l'inconvénient de s'user beaucoup plus fortement que les souffleries verticales et horizontales. C'est pour cela qu'elles ne sont que rarement employées.

Suivant l'espèce du *moteur*, on distingue les souffleries à machines à vapeur ou *souffleries à vapeur*, les souffleries à machines à gaz ou *souffleries à gaz*, les *souffleries à roues hydrauliques* et les *souffleries à turbines*.

#### *Souffleries à vapeur.*

Depuis quelque temps, les souffleries à vapeur sont toujours munies d'un arbre à manivelle et d'un volant. Comme on l'a dit, la course du piston est exactement limitée par la manivelle. Le mouvement est rendu uniforme par le volant, qui empêche aussi surtout les secousses. On peut par conséquent travailler avec une plus grande expansion ou une plus faible consommation de vapeur qu'avec les souffleries sans volant.

On distingue les souffleries à vapeur en souffleries horizontales, verticales et oscillantes.

#### *Souffleries à vapeur horizontales.*

Ces souffleries offrent les avantages suivants : leur construction est simple, elles n'exigent pas de grands frais d'établissement et elles sont faciles à surveiller et à entretenir. Mais elles ont aussi des inconvénients : l'usure des parois du cylindre par le piston a lieu d'un seul côté (c'est pour cela qu'avec ces souffleries, les garnitures métalliques ne peuvent pas être employées) et la tige du piston se courbe facilement. Pour éviter ces inconvénients, on emploie des pistons légers, des tiges de piston creuses et des coulisses à chariot pour ces dernières. Pour les mêmes raisons, on ne donne pas à la course du piston plus de 2 mètres de longueur et au diamètre du cylindre plus de 2,25 mètres. Avec les machines ayant 1,25 mètre de longueur de course, on donne au piston une vitesse de 0,80 à 1 mètre par seconde, avec les machines dont la longueur de course est de 1,50 mètre, cette vitesse est = 0,90-1 mètre, et avec celles de 2 mètres de course, elle est égale à 1-1,20 mètres par seconde. Comme le diamètre du cylindre ne va pas au delà de 2-2,25 mètres, on emploie, lorsque de grandes quantités de vent sont nécessaires, *plusieurs* cylindres. Dans les machines à un seul cylindre de cette espèce, le mieux est d'accoupler la tige du piston du cylindre à vapeur avec la tige du cylindre soufflant. Ce dernier est disposé à une des extrémités, le cylindre à vapeur dans le milieu et le volant, qui est actionné par une manivelle et une bielle,

à l'autre extrémité. Une pareille disposition est représentée par la figure 611.

Les souffleries à deux cylindres avec machines à vapeur conjuguées sont disposées de façon que le cylindre à haute pression et le cylindre à basse

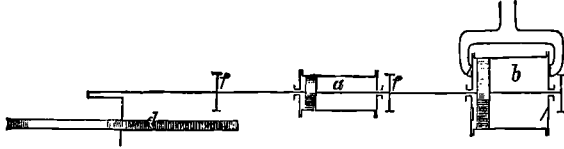


Fig. 611. — Soufflerie à vapeur horizontale à un seul cylindre.

pression soient réunis chacun à un cylindre soufflant et que le volant soit calé sur l'arbre à manivelle commun. C'est ce que représente la figure 612.

Une autre disposition moins convenable consiste à n'avoir qu'un cylindre à vapeur pour deux cylindres soufflants. Dans ce cas, les trois

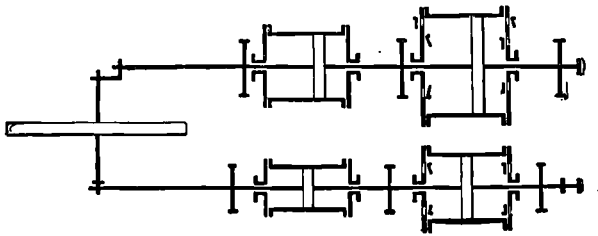


Fig. 612. — Soufflerie à vapeur horizontale à deux cylindres.

axes sont parallèles, le cylindre à vapeur étant placé entre les deux autres et donnant le mouvement à l'aide d'une bielle à un arbre coudé, qui commande, au moyen d'autres bielles, la tige des pistons soufflants. Pour mieux équilibrer la machine, on emploie alors deux volants placés l'un à droite, l'autre à gauche de la machine à vapeur.

Malgré leurs inconvénients, les souffleries à vapeur horizontales sont très employées. A ces dispositifs, appartiennent les plus grandes machines soufflantes des hauts fourneaux à fer. Ce n'est que depuis l'année 1873 (exposition de Vienne) que les machines soufflantes verticales à effet *direct* sont devenues plus en faveur dans les usines à fer de l'Allemagne.

#### *Souffleries à vapeur verticales.*

Dans les souffleries de cette espèce, la transmission de la force du cylindre à vapeur au cylindre soufflant a lieu soit au moyen d'un balancier, soit directement; dans ce dernier cas, le cylindre à vapeur se trouve soit au-dessus, soit au-dessous du cylindre soufflant. Mais dans le cas de transmission directe de la force, on emploie aussi, pour limiter la course et obtenir un mouvement uniforme, un arbre à manivelle avec un volant.

*Machines à balancier.*

Ces machines sont actuellement généralement munies d'un volant. Les machines à balancier sans volant, telles qu'elles étaient autrefois construites, ne sont plus maintenant employées, parce qu'avec ces dispositifs on a toujours à craindre de voir le piston venir frapper le couvercle et le fond du cylindre.

Les machines à balancier possèdent les avantages d'une grande stabilité et d'une grande durée; en outre, elles donnent des rendements élevés,

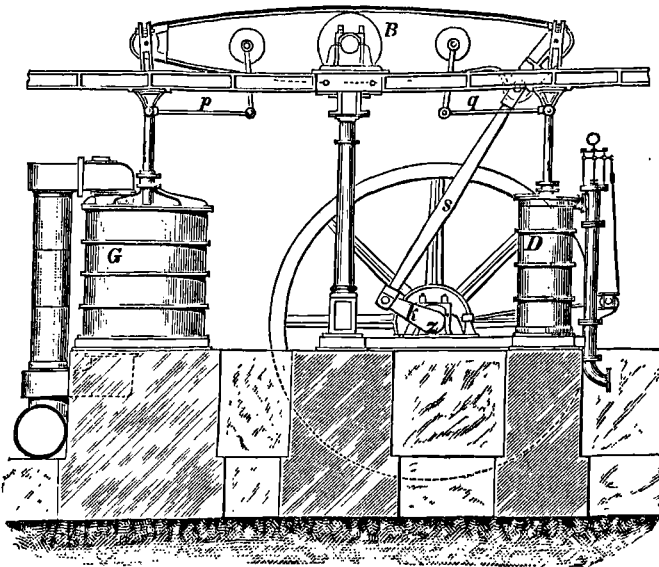


Fig. 613. — Machine soufflante à balancier.

elles ont de grandes longueurs de course, le cylindre, le piston et la tige de ce dernier s'usent uniformément et permettent d'y adapter commodément des pompes à air et des pompes de condensation; mais elles ont des inconvénients : leur établissement est coûteux, elles exigent des fondations construites avec beaucoup de soin, il leur faut un logement ayant à la fois beaucoup de longueur et de hauteur, la transmission de la force s'y fait indirectement et leur entretien est difficile. Le diamètre du piston du cylindre soufflant est beaucoup plus grand que celui du piston du cylindre à vapeur. C'est pour cela que lors du soulèvement du piston, une dépense de force plus grande est nécessaire que lors de son abaissement. Pour compenser cet excès de poids du piston, on adapte un contre-poids à une des extrémités du balancier.

On donne au cylindre soufflant 3,5 mètres de diamètre et jusqu'à 3 mètres de hauteur de course. Les machines à balancier avec 2,5-3 mètres de

hauteur de course font à la minute 10-15 rotations ; la vitesse du piston est par conséquent égale à 0,8-1,5 mètre par seconde.

On n'emploie que rarement les machines à plusieurs cylindres avec les cylindres ayant le grand diamètre et la grande hauteur de course qui

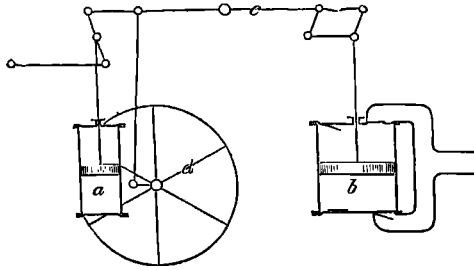


Fig. 614. — Machine à balancier avec point d'attache de la bielle directement au-dessus de la manivelle.

viennent d'être indiqués. Avec ces dispositifs, il faut un balancier particulier pour chaque cylindre soufflant et chaque cylindre à vapeur.

La disposition d'une machine à balancier avec manivelle et volant est mise en évidence par la figure 613. D est le cylindre à vapeur, G le cylindre soufflant, B le balancier. Le mouvement rectiligne des tiges des

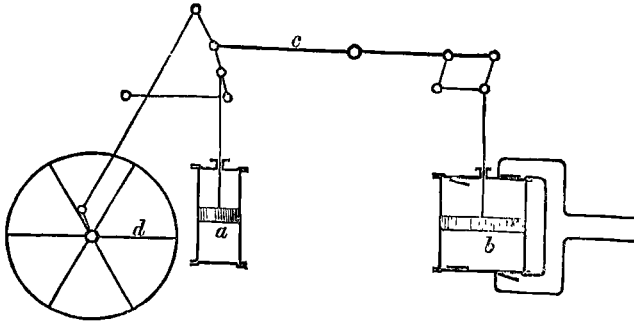


Fig. 615. — Machine à balancier avec point d'attache de la bielle au-dessus et en dehors du point d'application de la tige du piston.

pistons est obtenu au moyen des parallélogrammes  $p$  et  $q$ .  $z$  est l'arbre de couche avec la manivelle  $k$ ,  $s$  est la bielle. L'arbre se trouvant entre le cylindre à vapeur et le tourillon du balancier, on est obligé de donner à la bielle une position *oblique*, comme le montre le dessin. Cette position fait que la bielle exerce une forte pression latérale sur le tourillon du balancier.

On évite cet inconvénient, en attachant la bielle, comme dans la figure 614, entre l'axe d'oscillation du balancier et la tige du piston, perpendiculairement au-dessus de l'axe de la manivelle. Mais cette disposition donne lieu à un nouvel inconvénient ; la tige du piston du cylindre à

vapeur se trouve reliée à un bras de levier plus long que la bielle, de sorte que cette dernière, aussi bien que le tourillon de la manivelle et les coussinets de l'arbre du volant sont très fortement mis à contribution.

On peut supprimer les inconvénients signalés, en fixant, comme dans la figure 615, l'extrémité supérieure de la bielle à un prolongement du balancier en forme de corne au-dessus et au delà du point d'application de la tige du piston. Le balancier reçoit dans ce cas la forme d'un levier coudé; la bielle doit alors avoir une plus grande longueur et la manivelle une longueur moindre qu'avec un prolongement rectiligne du balancier.

A cause des inconvénients indiqués précédemment et aussi à cause de l'importance des frais d'établissement, on ne se décide que rarement, lorsqu'il s'agit de nouvelles installations de machines soufflantes, pour la construction de machines à balancier. On leur préfère maintenant les machines soufflantes verticales à effet direct.

#### *Machines à effet direct.*

Dans ces machines, le cylindre à vapeur et le cylindre soufflant sont placés l'un au-dessus ou au-dessous de l'autre. Lorsqu'il n'y a qu'un seul cylindre à vapeur, le cylindre soufflant et le cylindre à vapeur sont dans le même axe. Pour limiter la course du piston et pour obtenir une marche uniforme de la machine, ces souffleries sont aussi munies d'un arbre à manivelle et d'un volant. L'arbre est ordinairement placé au rez-de-chaussée, au-dessous du cylindre soufflant ou du cylindre à vapeur. Le mouvement de l'arbre à manivelle est produit par les pistons, c'est-à-dire par les tiges des pistons, par l'intermédiaire de bielles. Suivant que la transmission du mouvement par un piston à vapeur ou par un piston soufflant a lieu par l'intermédiaire de plusieurs bielles ou seulement d'une seule bielle, on distingue les souffleries à *double bielle* et les souffleries à *une bielle*. Les *souffleries* de la première espèce avec un cylindre à vapeur, qui sont employées *pour les hauts fourneaux*, sont désignées d'après la localité où elles sont surtout construites, sous le nom de souffleries de Scraing, et celles de la seconde espèce sont appelées, d'après la contrée où elles ont été construites pour la première fois, souffleries du Cleveland.

#### *Souffleries à double bielle.*

Ces souffleries sont très répandues.

Dans les souffleries avec *un* cylindre à vapeur (fig. 616), ce dernier (*a*) se trouve sur le sol du local renfermant la soufflerie, tandis que le cylindre soufflant (*b*) est placé à une certaine distance au-dessus de lui sur un bâti, supporté par des colonnes. La tige des pistons commune aux deux cylindres porte une traverse ou joug glissant dans des coulisses verticales. Cette traverse est munie à ses deux extrémités de tourillons, auxquels s'adaptent les bielles. Ces dernières se relient par leurs extrémités inférieures aux tourillons adaptés sur les volants *d*, *d* et elles transmettent ainsi le moment qu'elles ont reçu à l'arbre qui se trouve au-dessous du cylindre à vapeur.

Lorsqu'on emploie *plusieurs* cylindres construits d'après le système de Woolf ou le système Compound, la tige du piston du cylindre souffleur est fixée au côté supérieur du *joug*, tandis que, au côté inférieur de ce dernier, s'attachent les tiges du piston des deux cylindres à vapeur.

Le diamètre du cylindre soufflant s'élève à 3 mètres, la hauteur de course à 3 mètres au plus (elle dépasse rarement 2,80 m.). Les machines avec 2-2,5 mètres de hauteur de course font 10-15 rotations par minute, de sorte que la vitesse des pistons est égale à 0,67-1,25 mètre. Dans les machines avec 1,5-2 mètres de hauteur de course, le nombre des rotations s'élève à 15-20 et la vitesse des pistons à 0,57-1,33 mètre; pour les machines avec moins de 1,5 mètre de hauteur de course, le nombre des rotations va jusqu'à 30 et la vitesse du piston à 1,25 mètre environ.

Les *souffleries à plusieurs cylindres* de cette espèce ne sont qu'*exceptionnellement* construites. Elles offrent l'avantage de permettre de compenser le poids des organes en mouvement, lors de la descente du piston, en donnant aux différentes manivelles des positions relatives convenables. Dans les souffleries avec *un cylindre*, la *compensation des masses* des organes en mouvement doit être obtenue par l'adaptation de contre-poids à la périphérie des volants ou par l'emploi dans le cylindre à vapeur d'un *piston différentiel*. Ce dernier est un piston à vapeur dont la surface supérieure est rendue, par un *épaississement* de la tige du piston, plus petite que la surface inférieure, de sorte que la vapeur peut agir sur la face supérieure du piston avec moins d'énergie que sur sa face inférieure.

Les souffleries en question offrent les avantages suivants : transmission immédiate de la force, grande longueur de la course du piston, possibilité de l'emploi de cylindres à grand diamètre, surface de base peu étendue, fondations simples et frais d'établissement modérés. Voici maintenant quels sont leurs inconvénients : grande hauteur de la soufflerie et du local contenant celle-ci, surveillance de la marche difficile et pour les machines à un seul cylindre nécessité d'équilibrer les masses en mouvement.

#### *Souffleries avec une bielle.*

Dans les souffleries avec *une* bielle, le cylindre à vapeur se trouve tout près au-dessus ou au-dessous du cylindre soufflant. Les deux cylindres sont supportés par des colonnes ou des piliers. La tige du piston du cylindre inférieur est prolongée au-dessous de ce dernier et reliée avec la bielle au moyen d'un *joug* glissant dans des coulisses verticales. La bielle

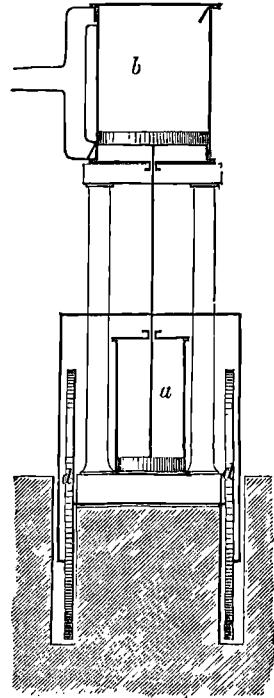


Fig. 616. — Soufflerie à double bielle avec un cylindre à vapeur.

s'attache par son extrémité inférieure à la manivelle de l'arbre du volant, qui se trouve au rez-de-chaussée. Ces souffleries sont ordinairement construites avec plusieurs cylindres, parce qu'on a alors l'avantage d'une compensation complète du poids des masses mues. Dans les souffleries à deux cylindres, une pareille compensation a lieu, lorsque les manivelles sont calées à 180°. Mais alors la pression du vent n'est pas régulière. Si

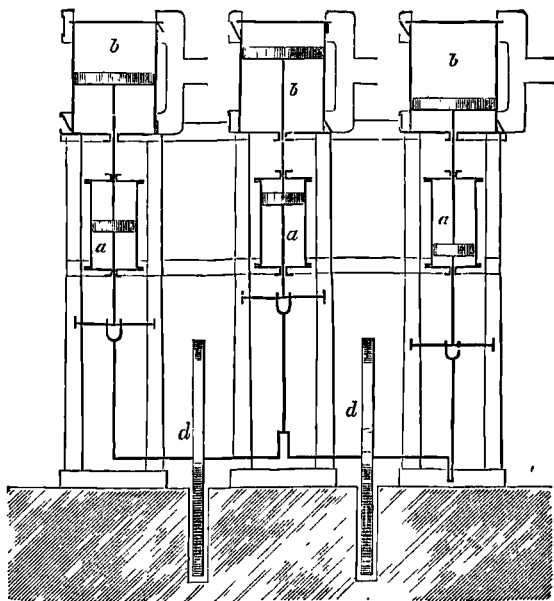


Fig. 617. — Soufflerie trijumelle.

les manivelles sont calées à 90°, on obtient bien une pression régulière, mais les poids ne sont pas complètement équilibrés.

Avec les souffleries à trois cylindres (souffleries trijumelles), on obtient, en calant les manivelles à 120°, à la fois régularité dans la pression et équilibre dans les organes en mouvement.

Les machines de WOLF sont surtout employées pour les souffleries à deux cylindres. Dans ces machines, la tige d'un piston est actionnée par le cylindre à haute pression, la tige de l'autre piston par le cylindre à basse pression.

Une soufflerie à trois cylindres, dite *soufflerie trijumelle*, est représentée par la figure 617. Dans ce dispositif, les cylindres à vapeur se trouvent au-dessous des cylindres soufflants, tandis que, dans les souffleries du Cleveland proprement dites, les cylindres à vapeur sont placés *au-dessus* des cylindres soufflants.

Les souffleries dont il vient d'être question, comparées avec les souffleries à deux bielles, offrent l'inconvénient que, pour la même hauteur de course, le dispositif tout entier doit être encore plus haut que pour les souffleries de la dernière espèce, parce que les bielles ne sont pas, comme dans ces dernières à côté, mais *au-dessous* des cylindres à vapeur. Pour



atténuer cet inconvénient, on raccourcit les longueurs de course et on donne un plus grand diamètre au cylindre soufflant et une vitesse plus grande au piston.

Si, d'après cela, les souffleries à un seul cylindre de cette espèce ne présentent aucun avantage sur les souffleries de Seraing, les souffleries à plusieurs cylindres ont sur celles-ci les avantages suivants : l'équilibre déjà mentionné du poids des organes en mouvement est obtenu sans l'emploi de contre-poids et le courant de vent produit est parfaitement régulier.

#### *Souffleries à vapeur oscillantes.*

Ces souffleries, qui s'usent très rapidement, par suite du frottement des tiges des pistons dans les boîtes à étoupe, ne sont plus maintenant employées, parce que l'avantage qu'elles présentent de n'exiger que peu d'espace est complètement annulé par l'inconvénient qui vient d'être mentionné.

La disposition d'une pareille soufflerie est mise en évidence par la figure 618. Le cylindre à vapeur et le cylindre soufflant oscillent tous les

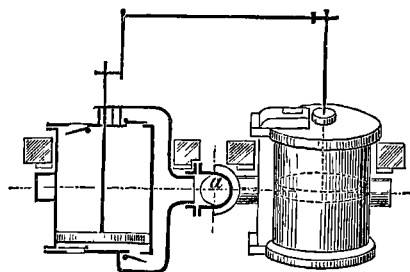


Fig. 618. — Soufflerie à vapeur oscillante.

deux pendant le travail. La tige du piston à vapeur et celle du piston soufflant s'attachent sur le même arbre à manivelle. Le vent se rend, par l'axe creux *a* du cylindre soufflant, dans le conduit qui l'amène où il doit être utilisé.

#### *Souffleries à gaz.*

Les machines qui donnent le mouvement à ces souffleries sont actionnées par des gaz de gueulard. Les souffleries à gaz sont toujours disposées horizontalement. Comme dans les souffleries à vapeur, la vitesse de la machine coïncide avec celle de la soufflerie et une transmission est par suite inutile. Le nombre des rotations va jusqu'à 90 par minute. Comme exemple, nous citerons une machine à gaz de haut fourneau dont le diamètre du cylindre est égal à 1,30 mètre, la longueur de la course à 1,40 mètre, le diamètre du cylindre soufflant étant égal à 1,70 mètre et la longueur de la course à 1,40 mètre.

La consommation de gaz pour un cheval-heure indiquée s'élève à 2,33 mètres, et par cheval-heure effectif 2,85 mètres.

Les souffleries à gaz sont employées pour les hauts fourneaux à fer.

### Souffleries cylindriques à moteurs hydrauliques

#### a. — Souffleries à roues hydrauliques.

Les souffleries à roues hydrauliques sont à action *directe*, dans lequel cas l'arbre de la roue forme l'arbre à manivelle et la bielle est reliée à la tige du piston, ou bien elles agissent *indirectement* par transmission au

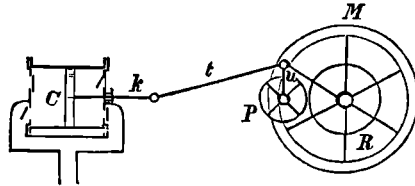


Fig. 619. — Soufflerie horizontale à roue hydraulique avec transmission.

moyen de roues dentées. Le dernier cas est le plus général, parce que le plus souvent le mouvement produit par les roues hydrauliques, à cause du petit nombre de tours qu'elles font, a besoin d'être transformé en un mouvement plus rapide.

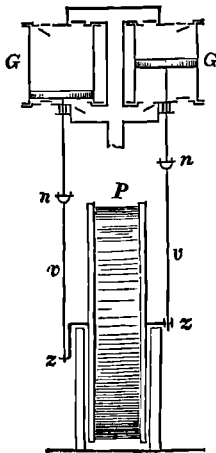


Fig. 620. — Soufflerie verticale à roue hydraulique à effet direct.

La longueur de la course du piston soufflant est limitée par la manivelle. Le volant est remplacé par la roue hydraulique. Dans un grand nombre d'usines, indépendamment de la soufflerie hydraulique, une soufflerie à vapeur est indispensable pour fournir le vent nécessaire, lorsque l'eau vient à manquer.

On emploie des souffleries horizontales, verticales et oscillantes. Ces différentes dispositions ont les inconvénients et les avantages mentionnés précédemment.

Une soufflerie *horizontale* avec transmission est représentée par la figure 619. M est la roue hydraulique; R et P sont des roues dentées; u est la manivelle, t la bielle, k la tige du piston et C le cylindre soufflant.

Une soufflerie *verticale* à deux cylindres à effet *direct* est représentée par la figure 620. P est la roue hydraulique; G, G sont les cylindres soufflants, v, v les bielles. n, n sont des glissières, z, z sont les manivelles adaptées aux tourillons de la roue hydraulique.

La figure 621 représente une soufflerie verticale avec transmission au moyen de roues dentées et balancier, telle qu'elle est fréquemment employée. H est la roue hydraulique; R et P sont les roues dentées; m est l'arbre à manivelle, k la manivelle, t est la bielle, w le balancier, v le cylindre soufflant. Avec deux cylindres, deux balanciers sont nécessaires. Dans ce cas, les deux bielles sont reliées à deux manivelles calées à 90°, qui sont fixées aux extrémités de l'arbre. La petite roue dentée se trouve

sur le milieu de ce dernier entre ses deux coussinets. La bielle peut ici être placée perpendiculairement au-dessous de son point d'application sur le balancier.

Une soufflerie *oscillante* à roue hydraulique est représentée par la

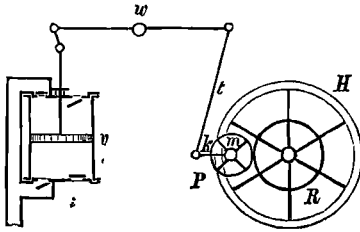


Fig. 621.

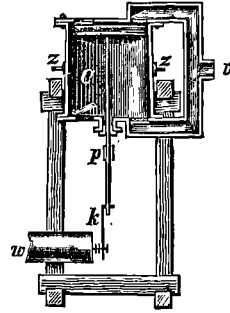


Fig. 622.

Fig. 621. — Soufflerie verticale à roue hydraulique avec transmission.

Fig. 622. — Soufflerie oscillante à roue hydraulique.

figure 622.  $w$  est l'arbre de la roue hydraulique,  $k$  la manivelle,  $p$  la tige du piston;  $C$  est le cylindre oscillant sur les tourillons  $z, z'$ ;  $v$  est le tuyau abducteur du vent, qui est mis en communication avec le prolongement de la conduite de vent au moyen d'un manchon en cuir.

#### b. — Souffleries à turbines.

A cause du mouvement de rotation rapide de la roue mobile de la turbine, ces souffleries nécessitent un dispositif permettant de *ralentir* le mouvement.

On emploie des souffleries *horizontales* et des *souffleries verticales*.

Une soufflerie verticale, actionnée par une turbine de JONVAL, est représentée par la figure 623.  $r$  est la roue mobile;  $w$  est l'arbre vertical traversant le tube de fer  $e$ . Cet arbre actionne l'arbre à manivelle  $k$ , par l'intermédiaire des roues coniques  $t$  et  $u$ . La manivelle  $g$  de l'arbre  $k$  est reliée à la bielle  $a$  et celle-ci à la tige du piston  $p$ .

On peut transformer cette soufflerie verticale en une *soufflerie horizontale*, en faisant subir une rotation de  $90^\circ$  (autour de l'axe de l'arbre à manivelle) à la manivelle, à la bielle, à la tige du piston et au cylindre.

Les souffleries *horizontales* peuvent aussi être à action directe. Dans ce cas, l'arbre de la turbine est muni d'une manivelle. Celle-ci actionne une bielle, qui est reliée par un joug à la tige du piston du cylindre soufflant.

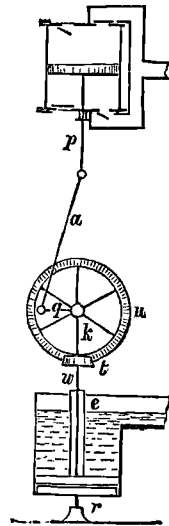


Fig. 623. — Soufflerie verticale à turbine.

*Effet utile des souffleries cylindriques.*

L'effet utile des souffleries cylindriques oscille entre 50 et 90 p. 100, suivant la vitesse du piston et la grandeur de la course; on peut admettre qu'il est en moyenne égal à 75 p. 100. Il est d'autant plus faible que la marche du piston est plus rapide et que la longueur de la course est plus petite, parce que plus la vitesse est grande, moins la fermeture des soupapes est parfaite et qu'avec la diminution de la longueur de la course l'espace nuisible augmente.

Les souffleries avec une grande course et une vitesse modérée du piston sont celles qui fournissent le plus grand effet utile. Celui-ci s'élève avec de pareilles souffleries jusqu'à 90 p. 100, tandis que, par exemple, pour les souffleries Bessemer, qui marchent très rapidement, il ne va que jusqu'à 60 p. 100.

La quantité de vent  $W$  fournie par une soufflerie cylindrique est  $= w \frac{Q p}{p'}$ , si l'on désigne par  $Q$  la quantité de l'air aspiré, par  $p$  la tension de ce dernier, par  $p'$  la tension de l'air condensé et par  $w$  l'effet utile de la soufflerie. La quantité de l'air aspiré  $Q$  est  $= s \cdot Z \cdot G \cdot O$ , si  $G$  est en mètres carrés la section du piston, après déduction de la section de la tige de ce dernier,  $O$  la course du piston, en mètres,  $Z$  le nombre des changements de course par minute avec une soufflerie à simple effet ou le nombre des courses avec une soufflerie à double effet et  $s$  le nombre des cylindres soufflants.

*Souffleries dans lesquelles l'espace pour la condensation de l'air est limité, partie par des corps solides, partie par de l'eau.*

*Soufflerie à tonneau.*

La soufflerie à tonneau consiste en un tonneau placé horizontalement et à moitié rempli d'eau, dans les fonds duquel se trouvent les soupapes d'entrée et de sortie pour le vent. Si le tonneau est soumis à un mouvement d'oscillation, l'air est aspiré ou refoulé.

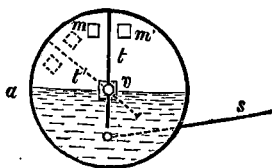


Fig. 624. — Soufflerie à tonneau.

$a$  (fig. 624) est le tonneau. Il est suspendu sur les tourillons  $v$  et peut, au moyen de la bielle  $s$ , être soumis à un mouvement de bascule;  $t$  est une cloison descendant jusque dans l'eau;  $m$  et  $m'$  sont des soupapes d'aspiration, qui s'ouvrent en dedans. Vis-à-vis ces soupapes, dans le fond opposé du tonneau, se trouvent à la même hauteur, les soupapes de refoulement, qui s'ouvrent en dehors. Si maintenant on fait mouvoir le tonneau vers la gauche, la cloison arrive dans la position  $t'$ . L'espace qui se trouve à droite de la cloison est ainsi agrandi, tandis que celui qui se trouve à gauche de la cloison est diminué, par suite du rapprochement de celle-ci de la surface de l'eau. De l'air pénètre par la soupape d'aspiration  $m'$  dans l'espace agrandi, tandis que l'air est condensé dans l'espace

réduit, et il se dégage par une soupape de refoulement (placée vis-à-vis *m*). Dans le mouvement du tonneau en sens opposé, l'espace situé à droite de la cloison est réduit et l'espace de gauche agrandi. De l'air s'échappe alors par la soupape de refoulement et entre par la soupape d'aspiration *m*. L'air condensé se rend, de la soupape de refoulement, dans un tuyau oscillant avec le tonneau et dont l'extrémité est en communication avec la conduite du vent.

Comme, lors de la rotation, les soupapes ne doivent pas atteindre le niveau de l'eau, il reste toujours un grand espace nuisible.

La soufflerie à tonneau ne fournit que de petites quantités de vent sous une faible pression. C'est pour cela qu'actuellement elle n'est plus employée.

#### *Soufflerie de Baader ou soufflerie à cloches.*

Ce dispositif repose sur le principe du ventilateur du Harz. Dans un vase partiellement rempli d'eau une caisse ouverte inférieurement ou une cloche est soumise à un mouvement alternativement ascendant et descendant. Dans le mouvement ascendant de la caisse ou de la cloche, il se produit un espace vide d'air; par suite de cela, il pénètre, par une soupape d'aspiration ou un tuyau muni d'une soupape d'aspiration et traverse le fond du vase en question, de l'air, qui, lors du mouvement descendant de la caisse ou de la cloche, est condensé et sort par un tuyau muni d'une soupape de refoulement.

Cette soufflerie a un grand espace nuisible et elle fournit du vent sous une faible pression. C'est pour ces raisons qu'actuellement elle n'est plus employée.

#### CONDENSATION DE L'AIR A L'AIDE DE SURFACES SOLIDES ET DE LA FORCE CENTRIFUGE

Les souffleries qui fournissent de l'air comprimé à l'aide de surfaces solides avec emploi simultané de la force centrifuge sont désignées sous le nom de **ventilateurs centrifuges**. Elles consistent en une roue à ailettes, qui est enfermée dans une enveloppe ou caisse. Celle-ci est munie sur un de ses côtés ou sur ses deux côtés d'ouvertures centrales, par lesquelles l'air est aspiré; cet air, par suite de la rotation de la roue à ailettes, est refoulé de l'axe de celle-ci vers sa périphérie et ensuite envoyé dans les conduits aboutissant au lieu où il doit être utilisé. Par l'élimination de l'air de l'espace qui se trouve entre les ailettes, la tension de l'air resté dans cet espace descend au-dessous de celle de l'air extérieur, de sorte que ce dernier pénètre sans interruption à l'intérieur de l'appareil.

L'air condensé peut être entraîné de la caisse aussi bien *tangentielle-ment* que *centralement* (sur le côté de la caisse opposé à l'ouverture d'entrée de l'air).

Dans l'entraînement tangentiel de l'air, le mieux est que la caisse forme une spirale autour de la roue, de façon que le canal abducteur de l'air aille en s'élargissant vers l'ouverture de sortie; dans l'entraînement cen-

tral de l'air, son canal abducteur se trouve au contraire concentrique à la roue.

Les ailettes ou les palettes de la roue sont droites ou courbes, et dans ce dernier cas elles peuvent être à triple ou à double courbure. Le mieux est que les roues soient fermées *latéralement*. Les roues *ouvertes latéralement* exigent, par suite de la résistance de l'air, une dépense de force beaucoup plus grande pour la condensation de l'air que les roues fermées latéralement.

*Ventilateurs avec sortie tangentielle de l'air.  
Avec palettes droites.*

Les palettes peuvent être placées radialement ou obliquement. Comme exemple du premier cas, c'est-à-dire d'un dispositif avec palette en posi-

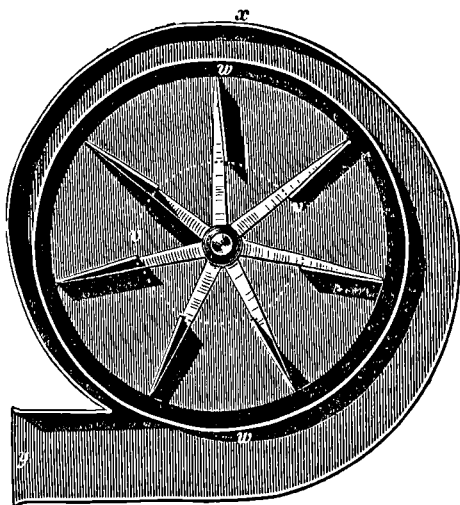


Fig. 625.

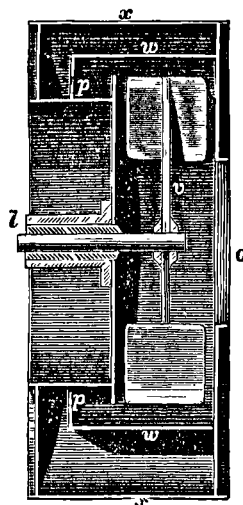


Fig. 626.

Fig. 625. — Ventilateur centrifuge de Schiele; coupe perpendiculaire à l'axe de la roue.

Fig. 626. — Ventilateur centrifuge de Schiele; coupe parallèle à l'axe de la roue.

tion radiale, nous citerons le *ventilateur de SCHIELE*, qui est représenté par les figures 625 et 626.

Autour de la roue *v* non fermée latéralement est disposée une caisse concentrique *w* et autour de celle-ci une caisse excentrique *x*. L'air pénètre par l'ouverture *o* dans la caisse intérieure, il est refoulé à la périphérie de cette dernière et de là il passe par la fente annulaire *p* dans la caisse extérieure, de laquelle il sort par la conduite de vent *y*. Le coussinet *l* de la roue *v* se trouve sur l'un des côtés de l'appareil. Ces ventilateurs ont 0,25-1 mètre de diamètre et fournissent, avec 600-750 rotations par minute, du vent sous une pression de 23-30 millimètres de mercure.

*Avec palettes courbées.*

A ces dispositifs appartiennent les ventilateurs de RITTINGER et de LLOYD. Le ventilateur de RITTINGER est représenté par les figures 627 et 628. La roue à palettes se compose de deux disques en fonte *m* et *n*, entre lesquels se trouvent des palettes courbées en tôle. Le disque *n* est fixé à un moyeu en fonte, à travers lequel passe l'arbre *w* du ventilateur. Il est la caisse en fonte du ventilateur, au couvercle de laquelle est fixé l'ajutage d'aspiration *s*. Cette caisse repose, par l'intermédiaire des pattes *v* venues

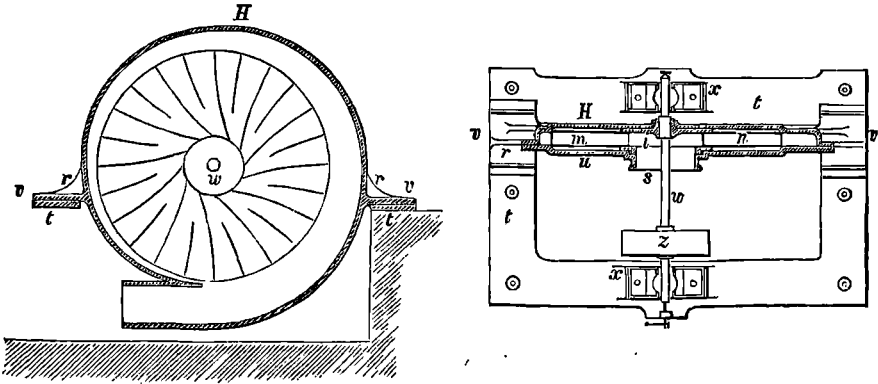


Fig. 627 et 628. — Ventilateur centrifuge de Rittinger.

de fonte et renforcées par les nervures *r*, sur les plaques de fondation *t*. Le mouvement est transmis au ventilateur au moyen de la poulie à courroie *z*.

Par suite de la grande vitesse de rotation de l'arbre *w*, les coussinets s'usent rapidement. Afin de remédier à cet inconvénient, on emploie des coussinets à billes.

Le ventilateur de LLOYD est représenté par les figures 629 et 630. Il se compose d'une roue munie de 6-8 palettes courbées *v* et de la caisse *w*. Les palettes sont fixées au moyen de bras et d'un moyeu à l'arbre *z*, reposant sur les coussinets *x* et *y*. La roue à palettes est fermée latéralement par les disques coniques en tôle *t*, *t* et *u*, *u*. L'air pénètre centralement par les ouvertures *s*, *s* et *s'*, qui se trouvent des deux côtés de la caisse et il sort par la conduite de vent *M*.

Ces ventilateurs font 1 200-2000 rotations par minute et ils fournissent du vent sous une pression de 45 millimètres de mercure.

*Ventilateurs avec sortie centrale du vent.*

A ce groupe appartient le ventilateur de SCHWARTZKOPFF, dont la disposition est mise en évidence par les figures 631 à 633.

La roue se compose d'un disque conique *v* en fonte, qui est muni de

palettes *w*. Celles-ci (fig. 632) sont placées, sauf la légère courbure de leur extrémité, radialement à l'axe de la roue. Cette dernière repose sur un arbre *T*, qui tourne dans deux coussinets. L'un des coussinets, *o*, se trouve dans le milieu de la caisse, l'autre, *p*, en dehors de celle-ci. La caisse est formée de deux parties *R* et *S*, vissées l'une sur l'autre. La

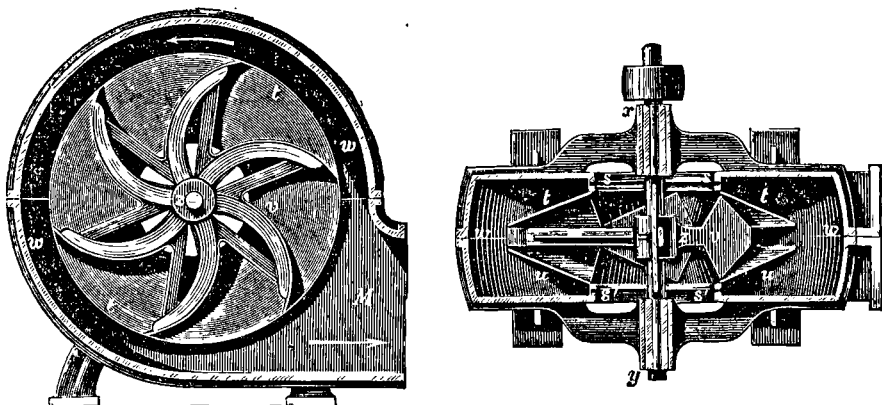


Fig. 629 et 630. — Ventilateur centrifuge de Lloyd.

partie *R* est munie d'une ouverture *q* pour l'entrée de l'air dans la roue, tandis que la partie *S* est mise en communication, par l'ouverture de sortie *tt*, avec la conduite du vent. Sur la partie *S*, se trouvent, venues de fonte avec elle, neuf palettes directrices, dont la forme est mise en évi-

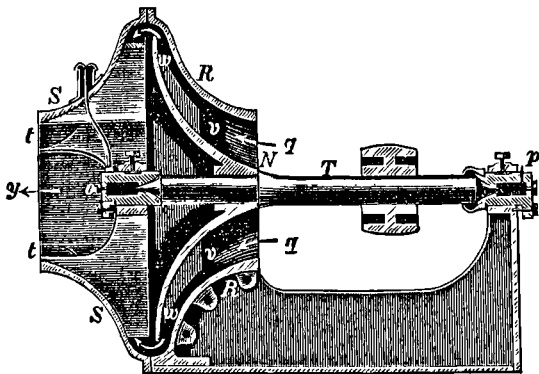


Fig. 631. — Ventilateur centrifuge de Schwartzkoff; coupe longitudinale.

dence par la figure 633. Ces palettes conduisent l'air dans la conduite du vent.

L'air entre par l'ouverture *NN*; il est poussé par le mouvement de la roue à palettes vers la périphérie de la caisse et de là, passant par-dessus le bord du disque de la roue, il se rend dans l'autre moitié de la caisse, dont les palettes directrices l'amènent vers la conduite du vent.



Ce ventilateur est à marche silencieuse ; il fait 1440-2880 rotations par minute et fournit du vent sous une pression allant jusqu'à 40 millimètres de mercure.

L'effet utile des ventilateurs s'élève à 25-30 p. 100 ; la majeure partie du travail est nécessaire pour surmonter le frottement de l'air et des tourillons. La quantité de vent dépend aussi bien de la vitesse des palettes que du volume de la caisse, tandis que la pression du vent ne dépend

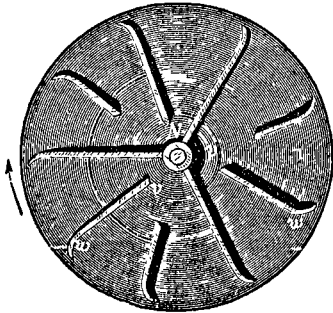


Fig. 632. — Ventilateur centrifuge de Schwartzkopff ; roue à palettes.

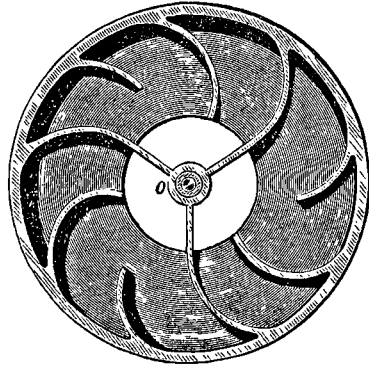


Fig. 633. — Ventilateur de Schwartzkopff ; deuxième moitié de la caisse avec les palettes directrices.

que de la vitesse des palettes, qui va jusqu'à 80 mètres par seconde (vitesse périphérique).

La plus haute pression des ventilateurs s'élève à 52 millimètres de mercure.

Les ventilateurs sont peu coûteux et simples dans leur installation, et ils sont employés avantageusement lorsqu'il s'agit d'obtenir de grandes quantités de vent sous une faible tension.

Ils trouvent emploi pour le soufflage du vent sous les grilles, pour la production de vent oxydant dans les fours à réverbère, en outre dans la refonte du fer brut et l'extraction du cuivre, du plomb et de l'argent. Depuis quelque temps, on les remplace dans beaucoup de cas par les souffleries à pistons rotatifs (souffleries de ROOT, de JÄGER, de KRIGAR, qui donnent des pressions plus hautes que les ventilateurs).

#### Régulateurs:

Dans l'intérêt de la régularité de la marche des fours, le vent soufflé doit y être introduit en un courant uniforme de pression constante.

Les souffleries cylindriques avec un cylindre fournissent le vent par saccades et sous pression variable, à cause du défaut d'uniformité de la vitesse du piston et de l'action imparfaite des soupapes. Cet inconvénient peut être atténué avec les souffleries à deux cylindres par le calage des manivelles à 90° et encore plus avec les souffleries à trois cylindres par le calage de ces organes à 120° ; malgré cela, on n'obtient pas cepen-

dant un courant de vent régulier, et pour arriver à faire disparaître le défaut d'uniformité en question, on est obligé de prendre des dispositions particulières. Celles-ci consistent à employer pour conduire le vent dans le four des tuyaux aussi larges et aussi longs que possible ou bien à le faire passer par de grands récipients, dits régulateurs, établis entre les machines soufflantes et les fours. Si le vent doit être chauffé, ces récipients sont remplacés par de grands appareils à air chaud en briques.

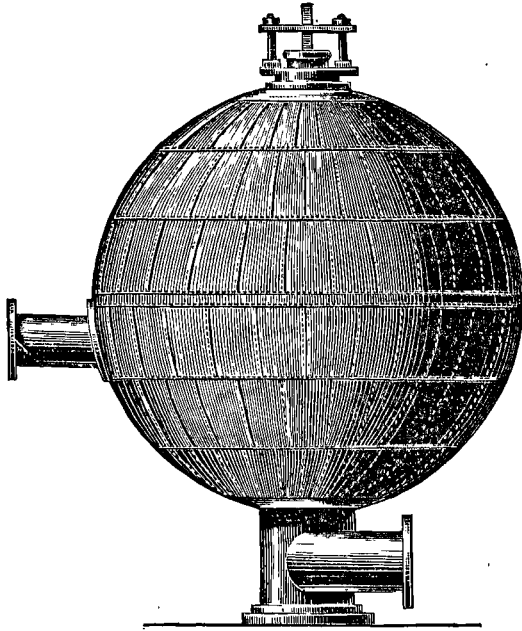


Fig. 634. — Régulateur sphérique.

La capacité des régulateurs est invariable ou variable. On a autrefois employé les régulateurs à capacité variable pour les petites souffleries. Ils sont actuellement généralement remplacés par les régulateurs à capacité invariable.

Les *régulateurs à capacité invariable* sont maintenant construits généralement en tôle de fer et on leur donne la forme de la sphère (fig. 634) ou du cylindre. Les régulateurs en forme de cylindres sont plus faciles à construire que les régulateurs sphériques et sont aussi, pour cette raison, plus fréquemment employés, bien que, à volume égal, la forme sphérique ait la surface la plus petite et que par suite les régulateurs de cette dernière forme exigent pour leur construction moins de matière que les régulateurs cylindriques. Ils ont 2-4 mètres de diamètre.

Au lieu des régulateurs en métal, on a aussi employé autrefois des régulateurs en maçonnerie ou bien on les a établis dans des roches non crevassés.

Le régulateur est pourvu d'une ouverture d'entrée et d'une ouverture de sortie pour le vent, ainsi que d'une soupape de sûreté.

La capacité du régulateur doit pour les souffleries à un seul cylindre, être égale, d'après v. HAUER, à vingt fois la capacité du cylindre soufflant ; on lui donne la même capacité pour les souffleries trijumelles, dont les manivelles sont calées à  $180^\circ$  (machines du Cleveland), parce que, par cette position des manivelles, avec les machines verticales, on obtient bien l'équilibre des masses en mouvement, mais non la régularité du courant de vent.

Actuellement, la règle est de donner au régulateur au moins soixante fois le volume de la quantité de vent qui y est soufflée par seconde.

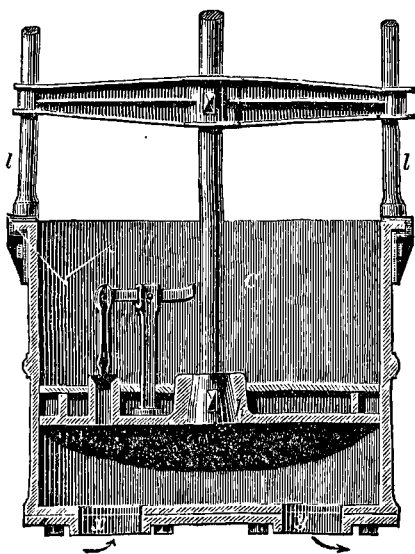


Fig. 635. — Régulateur à piston.

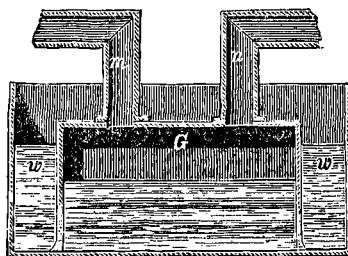


Fig. 636. — Régulateur à cloche fixe.

gulateurs à soufflets, les régulateurs à piston et les régulateurs à cloches.

Les *régulateurs à soufflet* sont des soufflets en cuir, avec lesquels le réglage du vent est produit au moyen de poids sur leur côté supérieur.

Le *régulateur à piston* (fig. 635) consiste en un cylindre vertical C, ouvert supérieurement et muni d'un piston k, dont la tige est guidée au moyen d'une traverse et des tiges l, l. Le vent entre par x et sort par y. La pression est réglée par le poids du piston.

Les *régulateurs à cloche* sont des cloches fixes ou mobiles, qui plongent dans un vase rempli d'eau jusqu'à un certain niveau. Avec les cloches fixes, le vent est réglé par le poids d'une colonne d'eau, dans les cloches mobiles par le poids d'une colonne d'eau et par le poids de la cloche.

Dans la figure 636, G est la cloche immobile, m l'ouverture d'introduction du vent, n l'ouverture de sortie. La figure 637 représente un régulateur avec cloche mobile, dans lequel z est la cloche, dont le mouvement est guidé par les tiges s, s, et v l'ouverture d'entrée du vent ; l'ouverture de sortie n'est pas indiquée dans la figure.

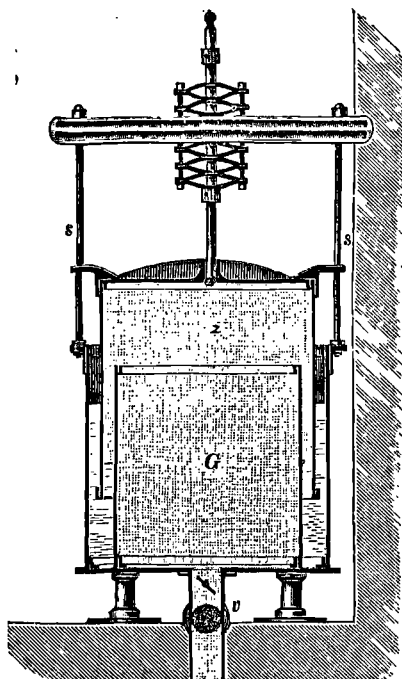


Fig. 637. — Régulateur à cloche mobile.

### Appareils pour le chauffage du vent soufflé.

#### (Appareils à air chaud.)

Comme nous l'avons dit en parlant des processus de la combustion, on élève la température de combustion en chauffant l'air nécessaire pour celle-ci, parce que dans ce cas on augmente la quantité de la chaleur sans augmenter en même temps les produits de la combustion. On obtiendra donc dans les fours, en employant du vent chaud, une température plus haute qu'en se servant du vent froid.

On a recours au vent chaud dans les procédés de séparation qui exigent une haute température, surtout dans l'extraction de la fonte au haut fourneau. Dans ce cas, les gaz de gualard du haut fourneau servent de combustible pour le chauffage du vent.

Dans l'extraction en fours à cuve de métaux facilement réductibles

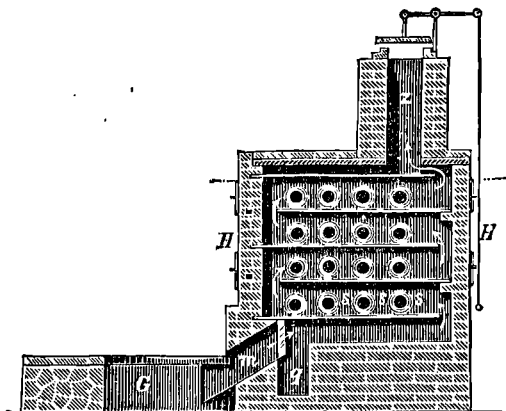


Fig. 638.

Fig. 638. — Appareil à air chaud de Wasseraaltingen; coupe transversale.

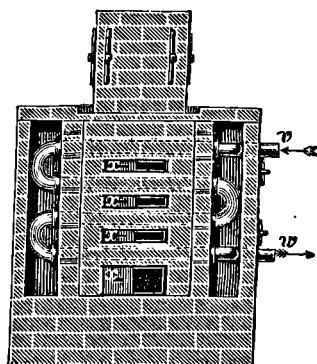


Fig. 639.

Fig. 639. — Appareil à air chaud de Wasseraaltingen; coupe longitudinale.

(plomb, cuivre, argent), une haute température n'est pas généralement nécessaire, parce que ces métaux *seulement* doivent être séparés, tandis

que les oxydes du fer contenus dans les minerais et les produits métallurgiques traités doivent être réduits à l'état de *protoxyde* et scorifiés. C'est pour cela que dans ces cas on n'a qu'exceptionnellement recours au vent chauffé, comme, par exemple, lors de la fonte pour matte des schistes cuprifères (Mansfeld), où il s'agit de liquéfier le lit de fusion difficilement fusible et de séparer les sulfures métalliques d'avec les silicates d'après leurs poids spécifiques, ou lors de la fonte pour matte brute argentifère, où il ne s'agit également que de la séparation de sulfures métalliques et de silicates. On se sert aussi dans ces cas de gaz de gueulard pour le chauffage du vent soufflé.

Dans *quelques opérations de fusions oxydantes* effectuées dans des fours à réverbère et dans des *bas foyers*, on chauffe aussi, mais avec moins d'avantage que dans les opérations en fours à cuve, l'air soufflé servant d'agent oxydant, en se servant de la chaleur perdue de ces fours (coupellation, raffinage de l'argent d'éclair, affinage de la fonte, raffinage du cuivre). Dans ces cas, afin de bien utiliser la chaleur des produits de combustion gazeiformes sortant des fours, les dispositifs de réchauffage du vent sont établis dans le voisinage immédiat des fours qui doivent être alimentés de vent chaud.

La plus haute température à laquelle jusqu'à présent on ait chauffé le vent soufflé s'élève à 800°.

Le chauffage a lieu soit dans des tubes en fer, soit dans des chambres garnies de briques réfractaires. On distingue, d'après cela, les *appareils à air chaud en fer* et les *appareils à air chaud en briques*. Dans les appareils à air chaud en fer, le vent passe à travers des tubes en fer, qui sont chauffés extérieurement dans des chambres particulières, et qui cèdent au vent la chaleur qu'ils ont absorbée. Dans les appareils en briques, le vent traverse des chambres remplies de briques réfractaires (des récupérateurs), qui ont été chauffées avant le passage du vent, au moyen de gaz de haut fourneau (gaz de gueulard). La chaleur des briques est transmise au vent par le contact de celui-ci avec celles-là. Comme les récupérateurs sont refroidis par l'abandon au vent de la chaleur qu'ils avaient absorbée et que, par conséquent, ils doivent être chauffés de nouveau au bout d'un certain temps, plusieurs appareils à air chaud (au moins deux, qui sont chauffés alternativement) sont nécessaires pour le chauffage ininterrompu du vent.

Dans les *tubes en fer*, le chauffage du vent ne peut pas être porté beaucoup au-dessus de 550°, parce que le fer aux hautes températures est oxydé par l'action de l'oxygène de l'air et rapidement détruit.

Dans les *appareils en briques*, la température du vent peut au contraire être portée jusqu'à 900°.

#### *Appareils à air chaud en fer.*

Les appareils à air chaud en fer doivent, pour que le chauffage du vent soit aussi parfait que possible, être disposés de façon que les tubes offrent une surface de chauffe aussi grande que possible et que le principe dit du contre-courant puisse être appliqué pendant le chauffage.

On obtient une surface de chauffe aussi grande que possible en divisant

le courant du vent en branches aussi nombreuses que possible et employant des tubes à section oblongue. Pour appliquer le principe du contre-courant, on fait passer le vent à travers l'appareil en sens opposé à celui du courant des gaz de chauffage, c'est-à-dire qu'on le fait entrer dans le point le plus froid du dispositif de chauffage et qu'on l'en fait sortir par le point le plus chaud.

Les tubes sont en fonte; ils reçoivent une épaisseur de 13 à 32 millimètres et conservent leur section dans l'espace où ils sont chauffés. Par suite de cette dernière circonstance, le vent chauffé, à cause de sa dilatation à mesure de l'augmentation de la température, acquiert une vitesse beaucoup plus grande que le vent froid. On ne lui donne pas une vitesse supérieure à 15 mètres par seconde. Il est convenable d'introduire

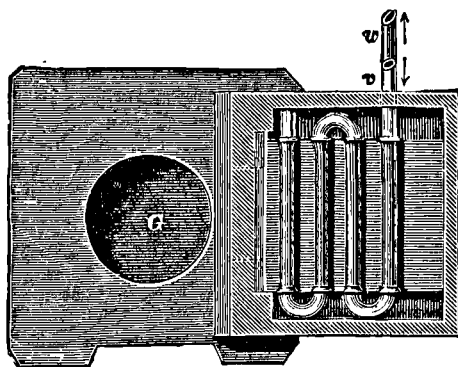


Fig. 640. — Appareil à air chaud de Wasseraaltingen; coupe horizontale.

d'abord les gaz destinés au chauffage des appareils en fer dans une chambre de combustion en briques réfractaires, où ils se mélangent avec de l'air et sont enflammés. De cette chambre, on fait ensuite passer les gaz en combustion, par une série d'ouvertures, dans la chambre de chauffage proprement dite. On empêche de cette façon le contact des gaz non brûlés avec les tubes relativement froids, ce qui rendrait la combustion difficile. Le mieux est de faire passer l'air de combustion dans la chambre de combustion à travers une grille sur laquelle sont brûlés des combustibles solides. On a ainsi la possibilité de rallumer les gaz lorsque la flamme vient à s'éteindre, de sorte qu'il ne peut pas se produire d'explosion.

L'expérience a appris que, si le vent doit être chauffé jusqu'à 300°, la grandeur de la surface de chauffe des tubes doit s'élever pour 1 mètre cube de vent par minute à 1,5-2 mètres carrés et à 3-4 mètres carrés si la température doit dépasser 300°.

On distingue les appareils tubulaires à air chaud en fer en *tubes horizontaux*, *tubes verticaux* et *tubes suspendus*. Dans les appareils à *tubes horizontaux*, le vent passe à travers plusieurs séries de tubes placés horizontalement les uns au-dessus des autres et réunis entre eux au moyen de coudes. Dans les appareils à *tubes verticaux*, on fait passer le vent alternativement de bas en haut et de haut en bas, à travers des tubes

placés verticalement ou un peu inclinés, qui de leur côté se trouvent dans des caisses horizontales ou dans des tubes horizontaux. Dans

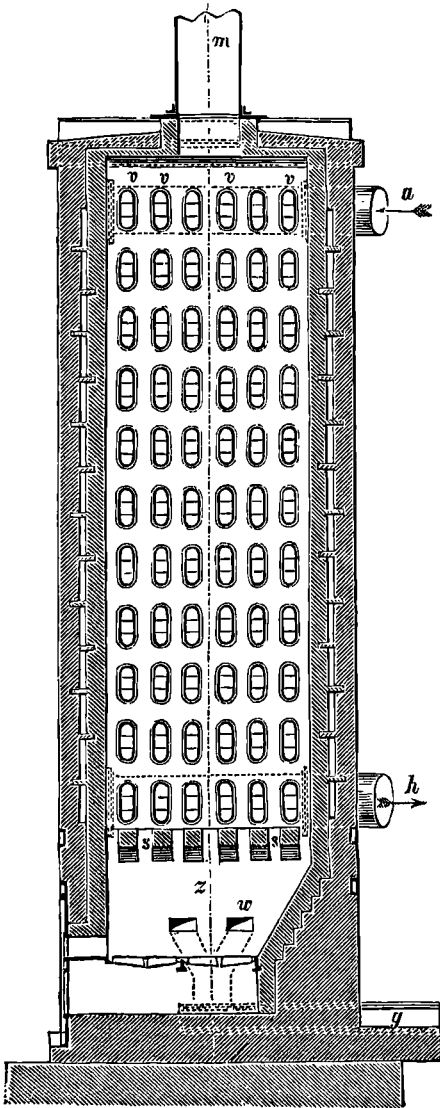


Fig. 641. — Appareil à air chaud de Langen ou de Westphalie ; coupe transversale.

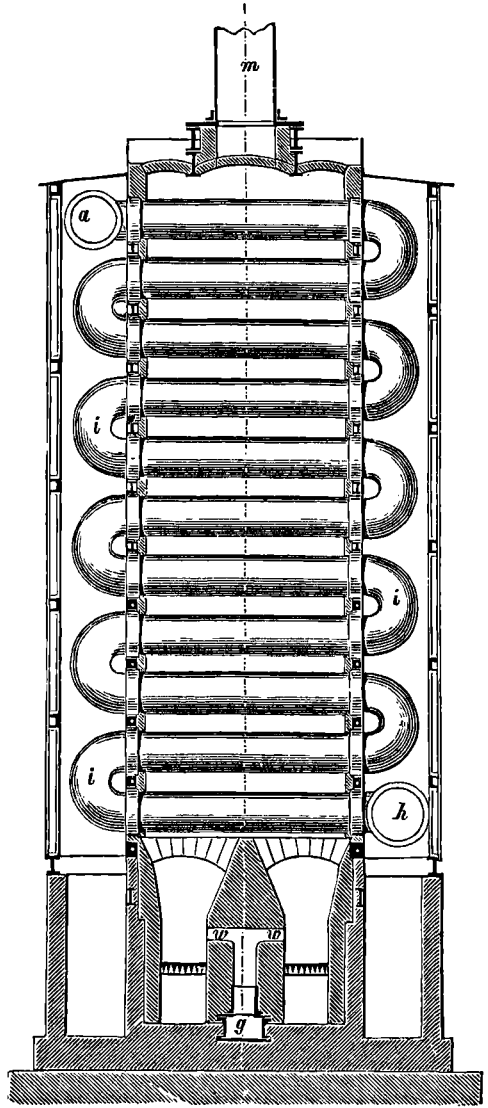


Fig. 642. — Appareil à air chaud de Langen ; coupe longitudinale.

les appareils à *tubes suspendus*, le vent passe d'abord de haut en bas et ensuite de bas en haut à travers des tubes qui sont suspendus dans la chambre de chauffe.

*Appareils à tubes horizontaux.*

A ce groupe appartiennent l'appareil de Wasseraffingen, l'appareil de LANGEN ou de Westphalie et l'appareil lorrain ou à doubles tubes.

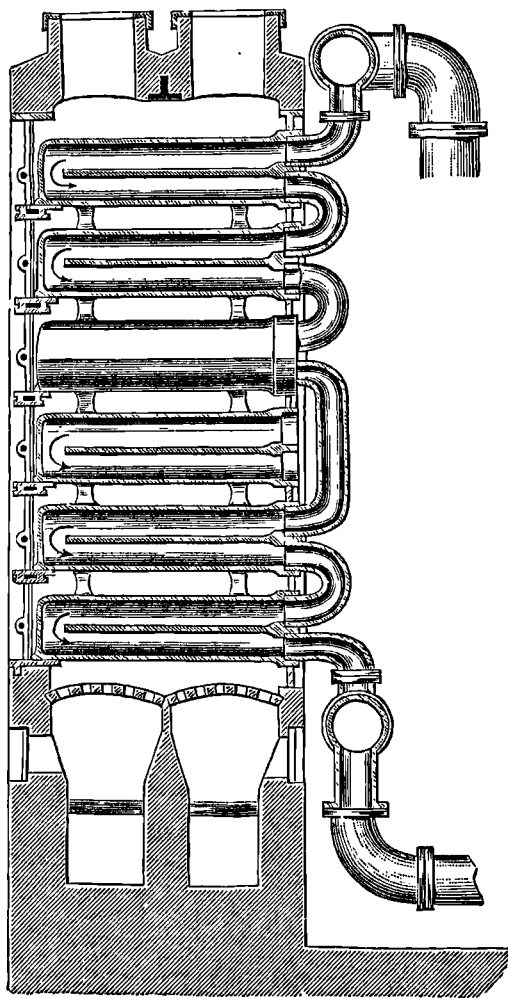


Fig. 643. — Appareil à air chaud lorrain ou à tubes doubles.

L'appareil à air chaud de Wasseraffingen est le dispositif le plus ancien ; il a été introduit à Wasseraffingen en l'année 1833. Il consiste en un serpentin unique, avec 16 circonvolutions, qui est disposé dans une chambre de chauffe, établie au-dessus du gueulard du haut fourneau, de façon que les courbes des différentes pièces tubulaires se trouvent en dehors de la chambre. Dans les figures 638, 639 et 640, G est le gueulard du haut fourneau, m le canal abducteur des gaz de ce dernier, H la chambre de chauffe avec la cheminée z, v l'ouverture d'entrée du vent dans le serpentin s, w l'ouverture de sortie du vent chauffé ; x, x sont des orifices pour l'entrée de l'air et l'élimination des poussières ; q est une cave pour recevoir ces dernières.

Dans cet appareil, le courant du vent n'est pas divisé. C'est pour cela qu'actuellement il n'est plus employé.

L'appareil à air chaud de LANGEN ou de Westphalie est représenté par les figures 642 et 643.

Du tuyau a, le vent à chauffer pénètre dans six branches de tubes parallèles v, à section oblongue, dont les circonvolutions également parallèles entre elles traversent la chambre de chauffe de haut en bas et viennent déboucher dans le tuyaux abducteur du vent chaud h. Du canal g, le gaz arrive par quatre conduits horizontaux w dans la chambre de combustion z. L'air de combustion pénètre par les intervalles des barreaux de la



grille. Les gaz en combustion arrivent, par les fentes *s*, ménagées dans la voûte de la chambre *z*, dans la chambre de chauffe, qu'ils parcourent de bas en haut, pour passer ensuite dans la cheminée *m*. Les coudes *i* qui unissent les différents tubes droits de chaque branche se trouvent en dehors de la chambre de chauffe, dans un espace, qui est entouré de parois en fer ou en maçonnerie, afin d'empêcher leur refroidissement. Les tubes horizontaux sont munis de nervures de renforcement, afin de les empêcher de se déformer sous l'influence de la chaleur.

L'appareil à air chaud lorrain ou à tubes doubles est un appareil de LANGEN, dans lequel les différents tubes droits de chaque branche sont divisés par une cloison horizontale en deux compartiments, de façon que le vent soit contraint de traverser d'abord la moitié supérieure du tube et ensuite la moitié inférieure. La disposition de cet appareil est mise en évidence par la figure 643.

Cette disposition a l'avantage de permettre d'économiser la moitié des coudes nécessaires pour l'appareil précédent, ce qui diminue les frais d'établissement; mais la surface de chauffe des tubes est plus petite que dans le dispositif de LANGEN et en outre la résistance au passage du vent est beaucoup augmentée par les fortes courbures des tubes.

A cause de leur disposition compliquée, ainsi que de la position des coudes en dehors de la chambre de chauffe et de la dépense considérable qu'entraîne le remplacement des tubes, les appareils à air chaud à tubes horizontaux sont de plus en plus supplantés par les dispositifs à tubes verticaux.

#### *Appareils à air chaud à tubes verticaux.*

Accrogroupé, appartiennent l'appareil de CALDER, l'appareil à tubes à pistolet, l'appareil à tubes doubles du Cleveland et l'appareil de GJERS.

L'appareil de CALDER est un *appareil à siphons*, dans lequel toujours deux tubes verticaux sont, au moyen d'une courbure, réunis en un seul tube, qui à cause de sa forme est appelé *tube-siphon* ou simplement *siphon*.

La disposition de cet appareil à air chaud est mise en évidence par les figures 644 et 645.

Le vent pénètre d'abord dans le tube horizontal *n*, duquel partent un certain nombre (4-9) de tubes-siphons verticaux *m* disposés parallèlement et qui viennent déboucher dans le tube *o*. Par ces tubes-siphons, le vent passe dans le tube *o*, du prolongement duquel partent également 4-9 tubes-

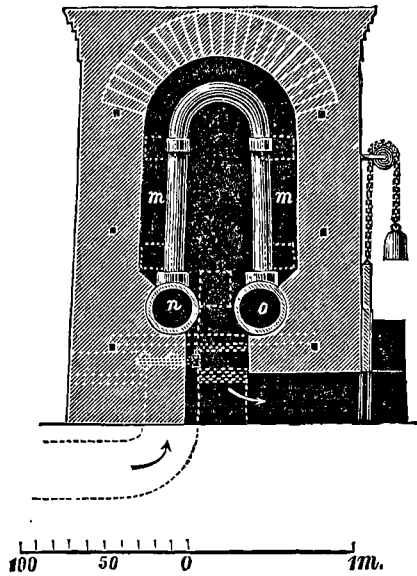


Fig. 644. — Appareil à air chaud de Calder; coupe transversale.

siphons, qui viennent déboucher dans le prolongement du tube  $n$ . Le vent passe du tube  $o$  prolongé, par les tubes-siphons, dans le tube  $n$  prolongé, il circule par conséquent suivant une direction contraire à celle qu'il avait primitivement.

Afin d'empêcher le vent de retourner dans la partie du tube  $n$  qu'il a d'abord traversée, le prolongement du tube  $n$  est séparé par une cloison

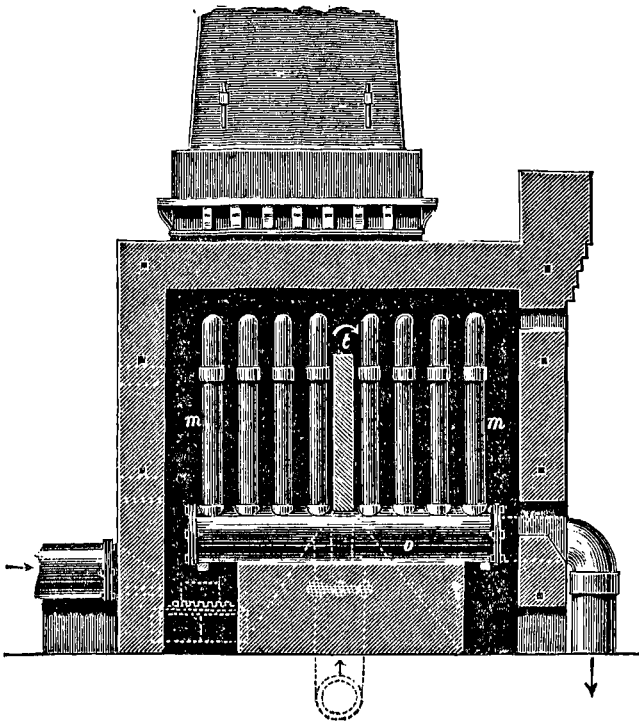


Fig. 645. — Appareil à air chaud de Calder ; coupe longitudinale.

de sa première partie. Dans l'autre prolongement de  $n$  sont adaptés une série de tubes-siphons conduisant le vent dans l'autre prolongement du tube  $o$ , qui est également fermé par une cloison et laisse ordinairement le vent se dégager de l'appareil dans le tube à vent chaud. Les tubes-siphons, qui reposent dans des manchons venus de fonte avec les tubes horizontaux, ont une section ovale, afin de mieux utiliser la chaleur.

La chambre de chauffe, en vue d'une meilleure utilisation de la chaleur, est partagée, au moyen de cloisons verticales, en un ou plusieurs compartiments correspondant aux différentes sections de tubes. Les cloisons, faites en briques réfractaires sont munies alternativement en haut et en bas de fentes (une seule fonte  $t$  est visible dans la figure) pour le passage du gaz de chauffage. Les gaz du gueulard se rendent dans le premier compartiment en passant au-dessus d'une grille; dans ce compartiment, ils se mélangent avec l'air introduit par la grille, s'enflamment,

puis arrivent par une fente de la partie supérieure de la première cloison dans le second compartiment de la chambre de chauffe et ils passent de ce dernier, par une fente qui se trouve au bas de la seconde cloison, dans le troisième compartiment, duquel ils se rendent dans la cheminée.

Les tubes-siphons du dispositif de CALDER sont très peu résistants. Par suite de la déformation des tubes sous l'influence de la chaleur et de la réunion en un tout des tubes-siphons et des tubes horizontaux, il se produit facilement des fêlures, surtout dans les coudes exposés à l'action de la pointe des flammes. C'est pour cela qu'à l'appareil de CALDER on substitue de plus en plus des dispositifs dans lesquels le vent ne passe pas d'un tube horizontal à l'autre, mais est divisé de prime abord en deux branches parallèles traversant la chambre de chauffe de bas en haut et de haut en bas. Aux dispositifs de cette espèce appartiennent, l'appareil avec tubes à pistolet, l'appareil à tubes doubles du Cleveland et l'appareil de GJERS.

#### *Appareil à air chaud avec tubes à pistolet.*

Dans ce dispositif, chaque tube vertical est divisé par une cloison verticale en deux compartiments, que le vent traverse l'un après l'autre. Dans la chambre de chauffe, il y a toujours deux de ces tubes placés vis-à-vis l'un de l'autre. Les têtes de ces tubes sont recourbées l'une vers l'autre et munies de nez venus de fonte. Ces derniers se placent l'un contre l'autre et donnent aux tubes plus de stabilité. La courbure de la tête des tubes donne à ces derniers une forme particulière, analogue à celle de la crosse d'un pistolet.

La disposition de cet appareil est mise en évidence par la figure 646.

Le vent pénètre dans l'appareil en deux courants parallèles, par les compartiments *a* et *h* des caisses *ab* et *gh*. Sur chacune de ces dernières sont établis 6-9 tubes à pistolet. Du compartiment *a*, le vent, montant par une moitié *c* de ces tubes et descendant ensuite dans l'autre moitié *d*, passe dans le compartiment *b* de la caisse correspondante, il traverse le prolongement de celle-ci et suit la direction inverse dans la caisse *a* prolongée, pour se rendre finalement de l'appareil chauffeur dans le tube collecteur du vent chaud. De *h*, le vent se rend d'une façon analogue, en traversant un même nombre de tubes à pistolet, dans la moitié *g* de la caisse *gh* et son prolongement et dans le prolongement de *h*, pour passer ensuite également dans le tube collecteur du vent chaud. La chambre de chauffe est ici, comme dans l'appareil de CALDER, partagée par une cloison en deux compartiments.

Les tubes à pistolet sont plus résistants que les tubes-siphons, mais les fortes courbures de la voie que le vent a à parcourir, par suite de la

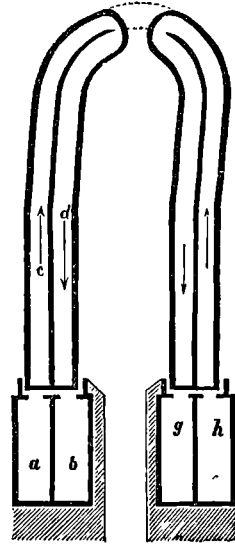


Fig. 646. — Appareil à air chaud avec tubes à pistolet.

présence dans les tubes de cloisons verticales, donnent lieu à de grandes pertes de pression. C'est pourquoi ils ne sont plus maintenant que rarement employés.

*Appareil à air chaud à tubes doubles du Cleveland.*

Dans cet appareil, le vent est divisé en une série de (trois) courants parallèles. Chaque courant traverse une série de tubes verticaux fixés sur une caisse inférieure et dont chacun est partagé par une cloison verticale en deux compartiments.

Le dispositif est représenté par les figures 647 et 648.

Du tuyau *v*, le vent arrive en trois courants dans la caisse *f*, il monte

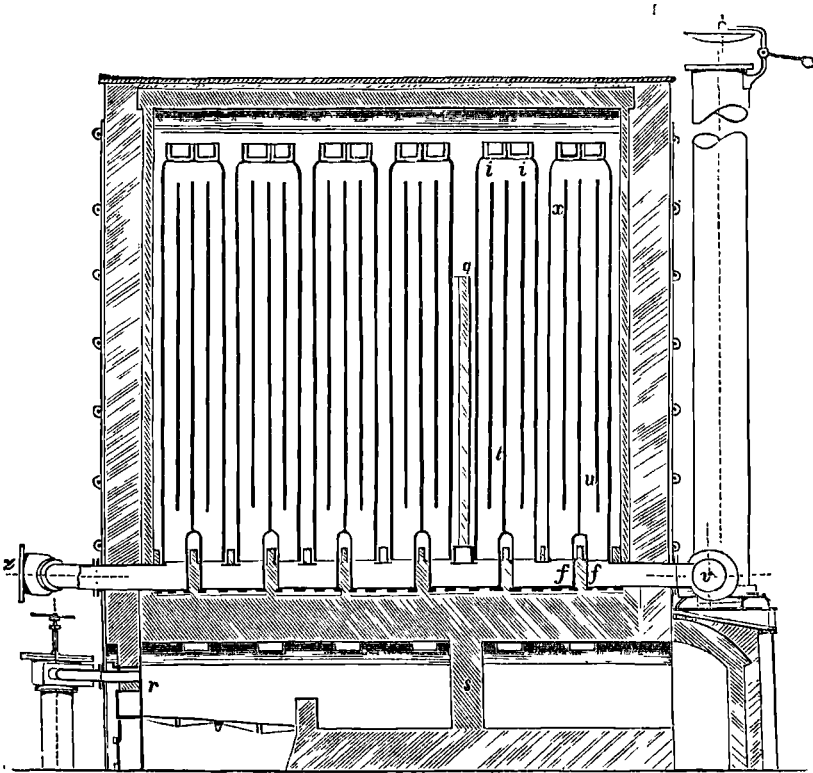


Fig. 647. — Appareil à air chaud à tubes doubles du Cleveland ; coupe verticale.

dans la première moitié *u* des premiers tubes et descend dans la seconde moitié *x*, il revient dans la caisse *f*, il parcourt de la même manière les deuxièmes tubes *t* et ainsi de suite, et il se rend finalement dans le conduit abducteur du vent chaud *z*. Les tubes sont munis intérieurement de nervures de renforcement *i, i*, venues de fonte. Ils sont ouverts supérieurement et fermés en ce point par des couvercles vissés. Les gaz de chauffage passent au-dessus de la grille *r*, tandis que l'air traverse celle-

ci et se mêle ensuite avec les gaz. Le courant gazeux monte d'abord et ensuite descend. Cette direction lui est donnée par la cloison verticale en

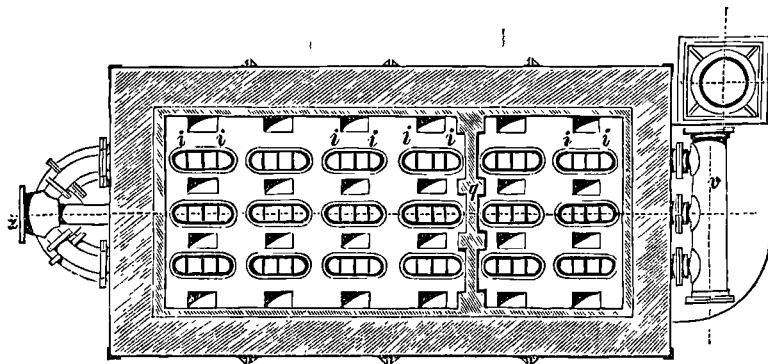


Fig. 648. — Appareil à air chaud à tubes doubles du Cleveland ; coupe horizontale.

maçonnerie *g*, qui correspond à une cloison *s*, établie dans la chambre de combustion.

Cet appareil donne de bons résultats (Gleiwitz).

#### *Appareil à air chaud de Gjers.*

C'est un appareil du Cleveland, dans lequel les tubes avec cloison sont remplacés par des tubes-siphons. Grâce à cette disposition, on augmente la surface de chauffe et on diminue le frottement du courant de vent dans les tubes.

La disposition de l'appareil est mise en évidence par la figure 649. Le vent traverse en deux courants les tubes-siphons fixés sur des caisses établies au-dessous de ces derniers.

Par des ouvertures munies de portes ménagées dans la couverture de la chambre de chauffe, les tubes peuvent être débarrassés des poussières qui s'accablent à leur surface.

#### *Comparaison des appareils à air chaud, à tubes verticaux avec les appareils à tubes horizontaux.*

Dans les appareils à tubes *verticaux*, le principe du contre-courant, à cause du mouvement ascendant et descendant des gaz de chauffage, n'est pas appliqué aussi parfaitement que dans les appareils à tubes horizontaux, de sorte que, à surface de chauffe égale, l'utilisation de la chaleur est moins complète que dans les derniers. Ils sont au contraire de plus de durée que les dispositifs à tubes horizontaux, parce qu'ils peuvent être construits plus longs et qu'ils exigent par suite moins de courbures que les tubes horizontaux, et en outre parce que les manchons des tubes inférieurs ne sont pas exposés à l'action de la pointe des flammes.

Les frais d'établissement sont moins élevés que pour les appareils à tubes horizontaux.

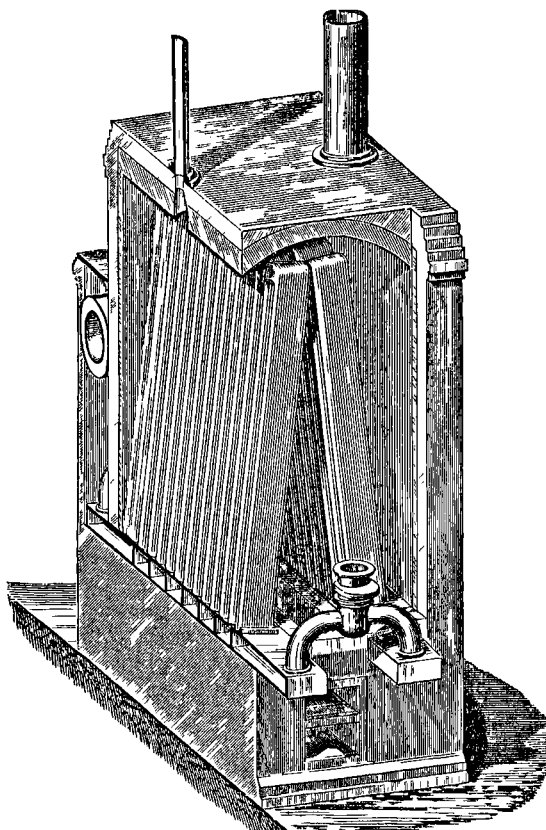


Fig. 649. — Appareil à air chaud de Gjers.

C'est pour cela que les dispositifs avec tubes verticaux sont, malgré l'inconvénient signalé, fréquemment employés.

*Appareils à air chaud à tubes suspendus.*

Dans ces appareils, des tubes divisés en deux compartiments par des cloisons verticales et partant de conduites communes adductrices du vent, sont suspendus dans les chambres de chauffe. Deux séries de ces tubes sont ordinairement mises en communication au moyen de coudes horizontaux se trouvant en dehors de la chauffe.

La disposition d'un appareil à air chaud à tubes suspendus est mise en évidence par la figure 650.

Du tuyau *v*, venant de la soufflerie ou du régulateur, le vent pénètre dans le tube *w* et de celui-ci dans les branches horizontales de quatre tubes suspendus dans une chambre de chauffe commune et qui sont chacun

divisés par une cloison verticale en deux moitiés  $x$  et  $y$ . Il descend d'abord dans l'une des moitiés  $x$  et il monte ensuite dans l'autre moitié  $y$ . Par les coudes  $z$ , qui se trouvent en dehors de la chauffe, il passe ensuite dans les tubes suspendus dans une deuxième chambre de chauffe et de ces tubes il se rend dans la conduite abductrice du vent chauffé.

Les gaz de chauffage traversent la chambre de chauffe de bas en haut

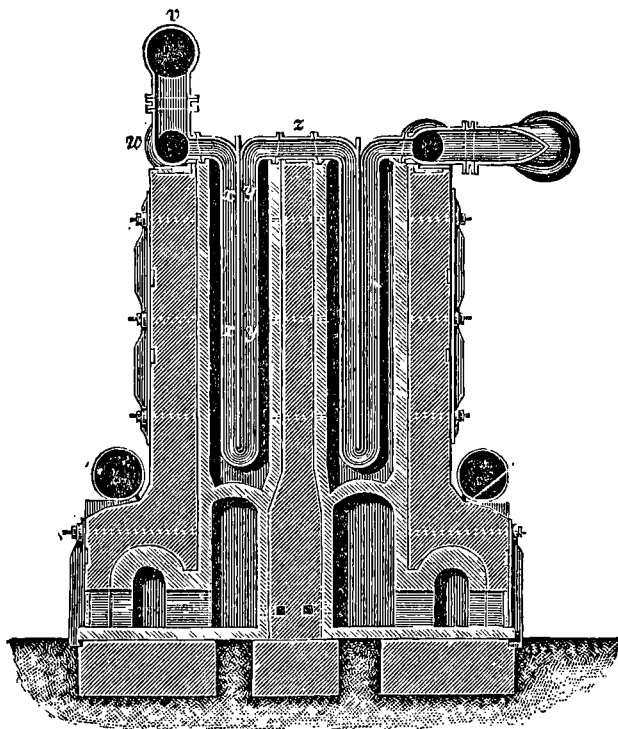


Fig. 650. — Appareil à air chaud à tubes suspendus.

et ils arrivent ensuite par des ouvertures ménagées dans les parois latérales dans des canaux descendants, qui les conduisent dans le canal aboutissant à la cheminée.

Les chambres de chauffe sont couvertes au moyen de plaques de fer.

Dans ces appareils, les tubes librement suspendus peuvent se dilater et se contracter librement, avantage qui est contrebalancé par ce grave inconvénient qu'une fois qu'il s'est formé des fissures, celles-ci sont agrandies par le poids des tubes. En outre, les coudes, comme dans les appareils à tubes horizontaux, se trouvent en dehors de la chauffe, de sorte qu'une grande partie de la surface tubulaire n'est pas chauffée directement.

A cause de ces inconvénients, les appareils à tubes suspendus ne sont pour ainsi dire plus employés.

*Appareils à air chaud en briques.*

Les appareils à air chaud en briques sont des chambres qui sont *garnies de briques réfractaires*, de façon qu'il reste entre celles-ci des espaces déterminés. A travers ces espaces, on fait passer alternativement des gaz en combustion et l'air soufflé. Les briques sont d'abord chauffées au rouge clair au moyen des gaz en combustion; on arrête ensuite le courant des gaz et l'on fait passer le vent soufflé dans les intervalles entre les briques. Pendant le passage du vent, on dirige les gaz dans un deuxième appareil. Le vent, qui traverse le dispositif en sens inverse des gaz de chauffage, absorbe une partie de la chaleur des briques et sort de l'appareil dans le point où celui-ci est le plus chaud. Lorsque, par suite de la cession de la chaleur des briques au vent, l'appareil s'est refroidi jusqu'à un certain degré, on y fait de nouveau passer les gaz de chauffage et l'on dirige le courant du vent dans une deuxième chambre, qui pendant ce temps a été chauffée. On continue ainsi à faire passer alternativement dans l'appareil les gaz en combustion et le vent. Par suite de la grande chaleur spécifique des briques réfractaires (0,23-0,26), celles-ci peuvent absorber et céder de grandes quantités de chaleur, sans que leur température soit beaucoup modifiée (20-50°). Avec de grands appareils, le changement dans le passage des gaz de chauffage et du vent est ordinairement effectué toutes les deux heures; avec les petits appareils, il doit avoir lieu à des intervalles plus rapprochés.

Afin d'éviter des pertes de vent, chaque chambre est entourée d'une chemise en tôle de fer, rivée avec le plus grand soin.

Dans les usines à fer, on se sert comme gaz de chauffage des gaz des hauts fourneaux. Ces gaz doivent, avant leur emploi, être purifiés.

Comme on est obligé de faire passer à travers les appareils à air chaud alternativement les gaz en combustion et le vent, chaque four doit être muni d'au moins deux de ces appareils. Le haut fourneau à fer est ordinairement pourvu de trois ou quatre appareils à air chaud.

Les appareils en briques permettent de chauffer le vent à 500-900°.

Les plus connus sont les appareils de COWPER et de WHITWELL.

*Appareil de Cowper.*

Sa disposition est mise en évidence par la figure 651. Il consiste en une cuve cylindrique en briques réfractaires, arrondie supérieurement en forme de dôme et entourée d'une chemise en tôle de fer; dans cette cuve, se trouvent un remplissage en briques *m* et une cheminée verticale en briques *a*, à section horizontale circulaire ou elliptique. Le remplissage de briques repose sur une grille plane en matière réfractaire, soutenue par des supports en fonte, et au-dessous de laquelle est ménagé un espace libre. Les gaz de chauffage pénètrent dans l'appareil par la boîte à soupape rotative *c*, ils montent par trois fentes dans la cheminée *a*, se mélangent avec l'air de combustion arrivant par *b*, s'élèvent jusqu'à l'extrémité de la cheminée, d'où ils passent ensuite, en traversant les intervalles entre les briques formant le remplissage, dans l'espace qui se



trouve au-dessous de celui-ci, après quoi ils traversent la boîte à sou-

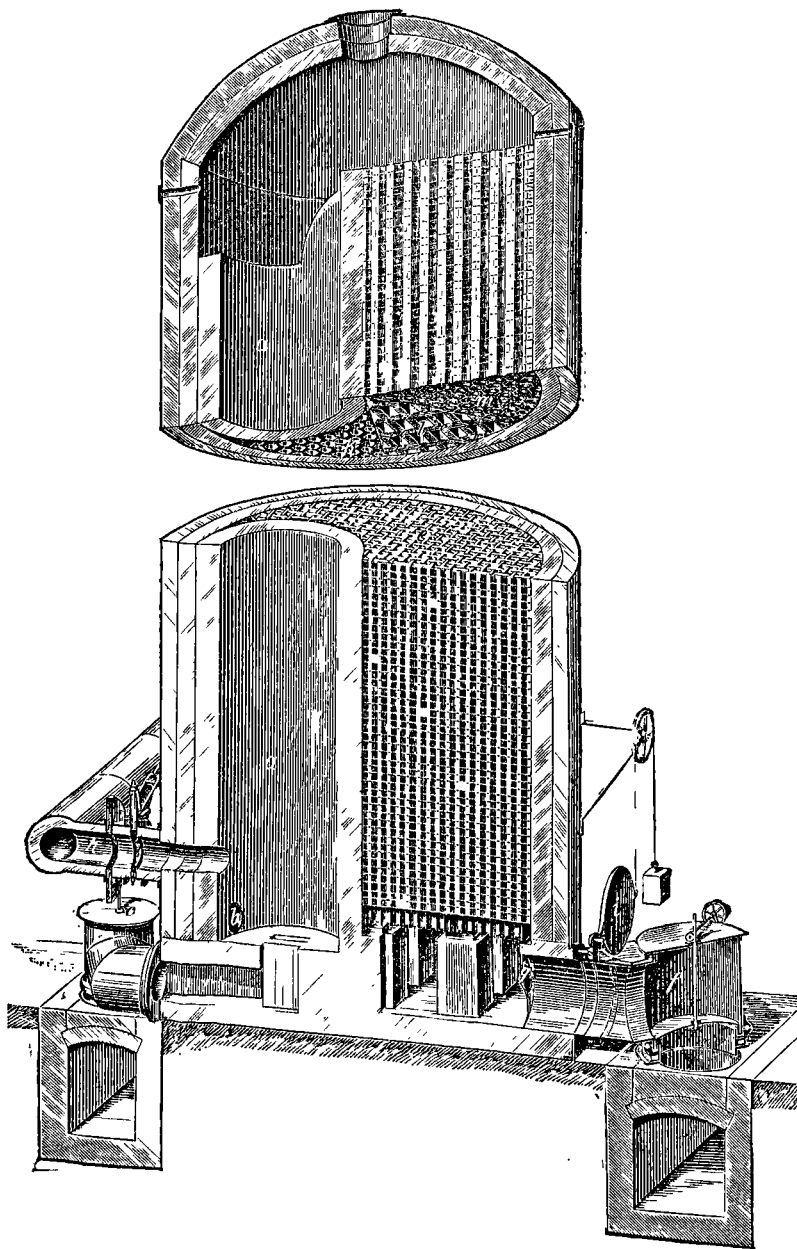


Fig. 631. — Appareil à air chaud de Cowper.

pape *f*, pour s'échapper par le rampant conduisant à la cheminée. Les

intervalles du remplissage en briques forment des canaux verticaux à section carrée, circulaire, hexagonale ou octogonale. Lorsque les briques ont été suffisamment chauffées par les gaz en combustion et les gaz brûlés, on ferme les ouvertures d'entrée du gaz et de l'air de combustion, ainsi que l'ouverture de sortie des gaz brûlés et l'on ouvre l'ouverture d'entrée du vent soufflé *g*, ainsi que l'ouverture de sortie du vent chauffé *h*. Le vent soufflé traverse le remplissage de briques chaud et la cheminée *a* en sens inverse des gaz de chauffage et passe, après avoir été fortement chauffé, dans le tube abducteur du vent chaud *h*.

Pour mettre l'appareil en activité, il faut, afin de chauffer les gaz à la température d'inflammation, placer sur le fond de la cheminée *a* des charbons incandescents. Plus tard, la température produite par la combustion des gaz suffit pour enflammer les gaz frais.

Les appareils de COWPER ont actuellement 18-26 mètres de hauteur et 6,5 mètres de diamètre extérieur. La surface de chauffe de l'appareil s'élève à 4 800-5 500 mètres carrés. Les corps pulvérulents, renfermés dans les gaz de gueulard, se déposent dans les petits canaux formés par les briques du remplissage. Ces canaux doivent par suite être nettoyés de temps en temps, opération que l'on pratique après avoir mis l'appareil hors de service et l'avoir laissé refroidir. Le nettoyage est effectué par un ouvrier, qui, par un trou d'homme, pénètre dans le dôme au-dessus du remplissage et laisse glisser dans les différents canaux un cône en fer suspendu à une corde et auquel est fixé un balai. La poussière ainsi détachée tombe dans l'espace qui se trouve au-dessous de la grille et en est retirée par des ouvertures particulières.

Les avantages de cet appareil sont une grande surface de chauffe et la lenteur avec laquelle l'air le traverse par suite de sa grande section. Les variations de la température de l'air chauffé, avec de grands appareils et des périodes de chargement de deux heures, oscillent entre 20 et 50°.

Mais, lorsque les gaz de gueulard sont chargés de poussières, les canaux du remplissage sont facilement obstrués par celles-ci, inconvénient qui nécessite un nettoyage fréquent de ces canaux. L'appareil de COWPER est actuellement très répandu.

#### *Appareils à air chaud de Whitwell.*

Les appareils de WHITWELL sont disposés de façon que les gaz de chauffage qui les traversent, aussi bien que le vent soufflé y circulant en sens inverse, se meuvent plusieurs fois de bas en haut et de haut en bas. Dans les anciens dispositifs de cette espèce, il n'y avait qu'un seul carneau large. Mais les nombreux changements de direction auxquels le gaz de chauffage et le vent à chauffer y étaient astreints gênaient leur mouvement et occasionnaient une perte sensible de pression. C'est pour cela que, dans ces derniers temps, on a diminué le nombre des changements de direction et que l'on a partagé le carneau, au moyen de cloisons transversales en une série de branches parallèles.

La figure 652 représente un appareil à air chaud de WHITWELL avec sa disposition nouvelle.

De la conduite *a*, les gaz pénètrent par un tuyau dans l'appareil et ils sont

brûlés au moyen d'air, qui arrive partie par les ajutages *k,k*, partie par les canaux *l,l* ménagés dans les parois de l'appareil. Les gaz de chauffage montent dans l'espace *b*, divisé en six compartiments par des cloisons transversales, ils descendent ensuite dans l'espace *c* divisé à son tour en

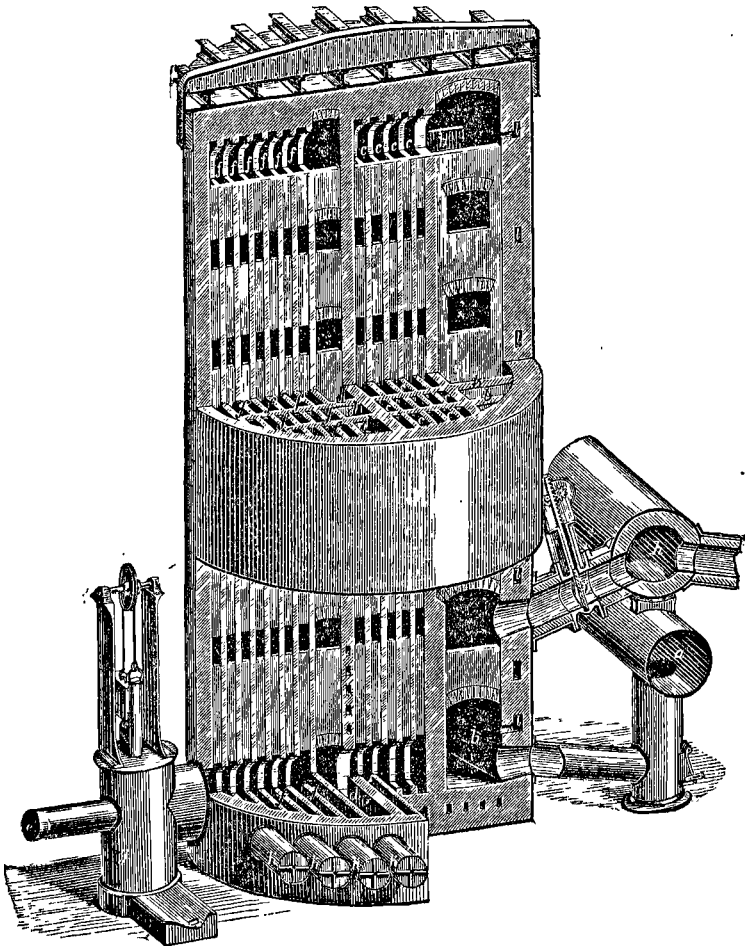


Fig. 652. — Appareil à air chaud de Whitwell.

30 canaux, puis ils montent dans l'espace *d* partagé en six compartiments et ils redescendent dans les canaux *f,f* divisés en 34 branches, pour passer ensuite, par le tube *g*, dans le canal aboutissant à la cheminée. L'air soufflé circule en sens inverse. Il pénètre par le tube *e*, traverse l'appareil et passe ensuite dans la conduite du vent chaud *h*.

Le nettoyage des canaux, en vue de l'élimination des poussières et de la suie qui s'y dépose, a lieu de l'extérieur. La couverture de l'appareil est munie d'ouvertures destinées à cet usage. Les poussières détachées

au moyen de balais tombent sur le fond des canaux et sont ensuite enlevées par des trous d'homme.

Les appareils à air chaud de cette espèce ont 6-7 mètres de diamètre et 19-20 mètres de hauteur. La surface de chauffe s'élève à 2 000-3 000 mètres carrés. Les variations de température du vent oscillent entre 50 et 60°.

L'avantage des appareils de WHITWELL consiste en ce qu'ils peuvent être nettoyés de l'extérieur, et on n'a pas besoin, par suite, comme pour les appareils de COWPER, de les laisser refroidir avant de procéder à leur nettoyage. Mais ils ont l'inconvénient d'offrir une surface de chauffe moins grande que celle de ces derniers appareils. C'est pour cela qu'ils ne se sont pas aussi répandus que l'appareil de COWPER.

Dans les appareils à air chaud de MASSICKS et CROOKE, le chauffage du vent a lieu dans un certain nombre de canaux annulaires concentriques.

Comme *dispositifs de fermeture* pour les orifices adducteurs et abducteurs des *gaz chauds*, on se sert dans les appareils en briques de soupapes guidées. Dans quelques appareils, ces dernières sont refroidies par de l'eau.

On emploie depuis quelque temps avec succès pour l'introduction des gaz combustibles et l'élimination des gaz brûlés le dispositif de BURGERS. Ce dispositif consiste en une boîte de distribution munie d'un ajutage tubulaire et pouvant tourner sur des billes ; par la rotation de cette boîte, l'ajutage tubulaire établit ou supprime la communication de l'appareil à air chaud avec la conduite du gaz ou la cheminée. Si la boîte est tournée de façon que sa communication avec l'appareil à air chaud soit supprimée, l'ouverture correspondante est hermétiquement fermée par un couvercle en fonte.

#### Dispositifs pour conduire le vent soufflé dans le lieu de son emploi.

Les dispositifs dont on se sert pour conduire le vent soufflé dans le lieu où il doit être employé sont des tuyaux en fonte ou en tôle. On emploie la tôle surtout pour le vent chaud.

Afin d'éviter des pertes de chaleur, on donne à la conduite de vent chaud une longueur aussi faible que possible et, pour la même raison, lorsque la température du vent ne dépasse pas 500°, on l'entoure *extérieurement* avec des corps mauvais conducteurs de la chaleur. Si le vent a une température supérieure à 500°, la conduite doit être protégée de l'action du vent chaud (sur le fer). Dans ce but, on la revêt *intérieurement* d'une maçonnerie ou d'une masse réfractaire ; le revêtement réfractaire empêche en même temps les pertes de chaleur par rayonnement, de sorte que le revêtement extérieur de la conduite avec des corps mauvais conducteurs de la chaleur devient inutile.

Mais les tuyaux en fer se dilatent sous l'influence de la chaleur et se rétractent en se refroidissant. C'est pour cela qu'avec les longues conduites, il est nécessaire, pour éviter la rupture des tuyaux, de pourvoir ces derniers de dispositifs qui permettent leur allongement et leur

raccourcissement. Ces dispositifs sont désignés sous le nom de **compensateurs**. On distingue les *compensateurs à plateaux* ou à *disques*, les *compensateurs à siphon* et les *compensateurs à presse-étoupe*.

Les *compensateurs à plateaux* sont les plus fréquemment employés. Il se composent (fig. 653) de deux ajutages tubulaires mobiles l'un dans l'autre et auxquels sont rivés des plateaux ou disques en tôle. A leur périphérie, ces plateaux sont reliés entre eux par une pièce de fer en U. Si la conduite se dilate, les plateaux se rapprochent l'un de l'autre; si elle se rétracte, ils reviennent dans leur ancienne position.

Les *compensateurs à siphon* sont des tuyaux en tôle de fer ou de cuivre courbés en forme de siphon et intercalés dans la conduite, qui peuvent s'allonger et se raccourcir sans se rompre. Ils ne peuvent être employés pour les conduites très étroites.

Les *compensateurs à presse-étoupe* se composent de deux tubes, dont l'un se termine d'un côté par un presse-étoupe, tandis que l'autre est disposé à une extrémité de façon à pouvoir être introduit dans le tube du presse-étoupe. On emploie de l'amiante pour le garnissage de ce dernier.

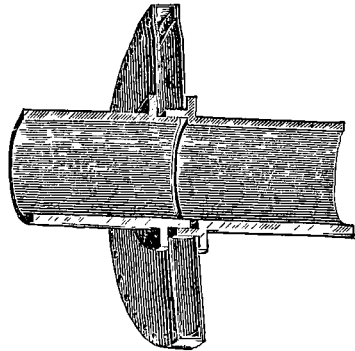


Fig. 653. — Compensateur à plateaux.

La conduite de vent se termine dans des pièces coniques, appelées **buses**, qui sont placées dans des ouvertures particulières du four, ou bien elle aboutit dans des **boîtes à vent** qui, au moyen de fentes ou de tubes, sont en communication avec l'intérieur du four. On emploie les buses avec les fours à réverbère, les bas foyers et la plupart des fours à cuve, et on se sert des boîtes à vent avec quelques fours à cuve et les appareils Bessemer.

Les buses sont reliées aux conduites de vent au moyen de pièces tubulaires, que l'on nomme **porte-vent**. Ces derniers sont formés d'une partie verticale ou inclinée et d'une partie horizontale reliée à la buse. Les deux parties sont reliées entre elles au moyen d'un genou. Si le vent ne doit arriver que d'un seul côté du four, la conduite de vent débouche directement dans le porte-vent qui s'y trouve. Si, au contraire, il doit pénétrer dans le four par plusieurs côtés, on fait déboucher la conduite de vent dans un tuyau de distribution, qui de son côté est en communication avec les porte-vent. Dans les fours à section horizontale circulaire, ce tuyau est disposé en forme de couronne autour du four. Les tuyaux de distribution se trouvent au-dessous ou au-dessus du niveau des orifices d'entrée du vent, dans le premier cas, ordinairement dans le sol de l'usine.

Dans les nouveaux fours à cuve libres de tous côtés, le tuyau de distribution est disposé *au-dessus* du niveau des ouvertures d'introduction du vent. On l'établit ordinairement sur des consoles, qui sont venues de fonte avec les colonnes ou la couronne supportant le four, ou sont solidement fixées à vis sur celles-ci.

Si la conduite de vent ou le tuyau de distribution se trouve *au-dessous*

des ouvertures d'entrée du vent, les porte-vent sont fixés perpendiculairement sur ces conduites, tandis que, si celles-ci sont établies à un niveau élevé, on en fait descendre les porte-vent. Les porte-vent de la dernière espèce, tels qu'ils sont actuellement fréquemment employés, empêchent l'introduction des scories dans la conduite du vent.

La buse est en fonte ou en tôle. Elle a une forme conique, qui donne le

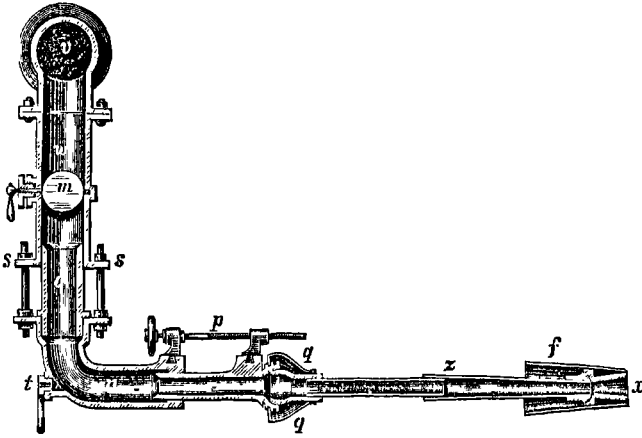


Fig. 654. — Porte-vent.

coefficient d'écoulement le plus favorable. Ce coefficient est maximum, lorsque les côtés offrent une inclinaison réciproque de  $6^\circ$ . Le diamètre intérieur des buses s'élève à 25-130 millimètres. Les buses sont placées dans des canaux, dont les parois sont généralement en métal.

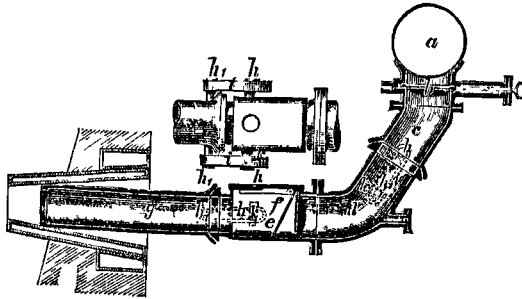


Fig. 655. — Autre disposition de porte-vent.

Pour permettre de régler leur position et de visiter et changer les tuyères, les buses doivent être mobiles horizontalement et verticalement et pouvoir être retirées complètement du four. Lorsqu'on se sert de vent froid, on peut obtenir cette mobilité en intercalant un tuyau en cuir entre la buse et le porte-vent. Lorsqu'on a recours au vent chaud, on emploie des joints sphériques et des pièces tubulaires mobiles. On agit de même

pour le vent froid, lorsque le cuir est rendu rapidement cassant par la chaleur du four.

Un porte-vent muni des dispositifs dont il vient d'être question est représenté par la figure 654. *v* est le tuyau de distribution, *w* la première partie du porte-vent suspendue au tuyau *v* et dans laquelle se trouve une valve *m*; *n* est le coude, relié à *w* au moyen de la pièce *o*; il peut être déplacé en direction *verticale* à l'aide des vis *s*, afin de régler la hauteur de la buse *z*. A la partie horizontale du coude *n*, se rattache un tube *r*

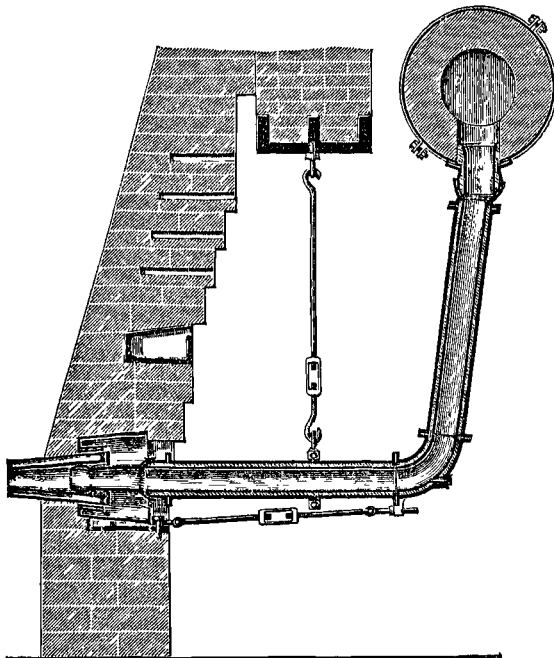


Fig. 656. — Porte-vent suspendu à une tringle.

mobile dans cette partie du coude et qui est relié par un joint sphérique *k* à une pièce tubulaire horizontale. Cette dernière pénètre par son extrémité opposée dans la buse *z*. A l'aide de la vis *p*, on peut faire mouvoir la buse en avant ou en arrière ou l'enlever; *q, q* sont des ressorts qui s'agrafent dans des entailles de l'extrémité du tube *r*, afin de maintenir la buse dans sa position; *t* est un regard fermé par une plaque de mica; *f* est la tuyère, *x* est une pièce opérant la fermeture de l'espace entre la buse et la tuyère.

La figure 655 représente une autre disposition de porte-vent. Les différentes pièces tubulaires mobiles sont réunies par des joints sphériques et elles sont rapprochées ou éloignées l'une de l'autre au moyen d'anneaux tendeurs *i, i*, embrassant des manetons *h, h*, venus de fonte, et des coins *k*.

Dans la figure 656 est représenté un porte-vent suspendu à l'aide d'une

tringle, pour fours à très haute température. Il se compose d'un tuyau à deux parois, dans l'intervalle desquelles se trouve une matière conduisant mal la chaleur (porte-vent de VAN VLOTEN). Les joints des différentes pièces sont garnis d'amianté.

Dans la partie coudée, il y a ordinairement un regard fermé par une plaque de verre ou de mica, par lequel on peut observer les processus qui se passent à l'intérieur du four.

Le vent peut être arrêté à l'aide de soupapes à boulet, de registres, de valves ou de robinets adaptés dans la conduite du vent.

Il est tout à fait convenable que l'on puisse arrêter le vent dans chacune des pièces tubulaires. Pour les fours à faible pression, il y a dans ce but une valve ou bien le tube de la buse est mobile dans un ajutage tubulaire horizontal et pourvu d'une ouverture, qui, par rotation du tube dans cet ajutage, peut être mise en communication ou hors de communication avec la conduite du vent. Dans les installations des hauts fourneaux à fer avec une forte pression, on établit devant la buse des clapets qui sont ouverts par la pression du vent et ferment le tube de la buse dès que l'afflux du vent cesse. Grâce à cette dernière disposition, on évite, lorsqu'on se sert de vent chauffé, l'aspiration des gaz du four dans la conduite du vent et, par suite, la possibilité d'explosions par formation dans la conduite d'un mélange détonant d'oxyde de carbone et d'air.

### *Tuyères.*

Les canaux par lesquels le vent est introduit dans le four sont établis soit dans les parois métalliques du four refroidies avec de l'eau, soit dans sa maçonnerie. Dans le premier cas, ils représentent des tubes métalli-

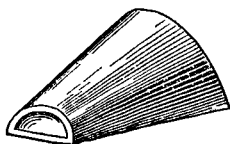


Fig. 637. — Tuyère hémiconique.

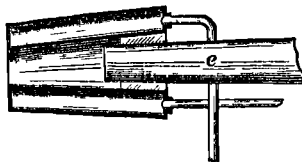


Fig. 638. — Tuyère à courant d'eau.

ques immobiles entourés d'eau. Dans le second, ils sont généralement munis d'un *revêtement*, afin de protéger les buses. Si ce revêtement forme un tube se terminant en forme de cône à l'intérieur du four et pouvant être retiré de ce dernier, on le désigne sous le nom de **tuyère**. Les tuyères sont généralement en métal, dans quelques cas peu nombreux en argile.

L'extrémité de la tuyère tournée vers l'intérieur du four est appelée le *nez de la tuyère* et l'ouverture qui se trouve à cette extrémité porte le nom d'*œil de la tuyère*.

Lorsque la température des fours est très élevée, les tuyères métalliques ont besoin d'être refroidies au moyen d'eau, afin d'empêcher leur fusion. Ce n'est que lorsqu'on emploie le vent froid et que la température du four n'est pas très haute que l'on peut se dispenser de refroidir les tuyères métalliques. Celles-ci présentent la forme d'un cône tronqué ou bien celle



d'une moitié de cône tronqué (fig. 657). Dans ce dernier cas, on nomme la partie inférieure *plaque*, la partie supérieure voûtée *poitrine* ou *panse*. Les tuyères non refroidies sont faites en fonte, en tôle de fer ou en cuivre et l'on donne au nez de la tuyère une épaisseur beaucoup plus grande qu'à l'autre extrémité. L'espace entre la tuyère et la maçonnerie du four est rempli d'une masse réfractaire pilonnée.

Les tuyères refroidies au moyen d'eau, les *tuyères à courant d'eau*, offrent en général la forme d'un cône tronqué et sont munies d'une double paroi, comme le montre la figure 658. Cette forme doit être préférée à celle du demi-cône, parce que avec la forme conique la tuyère est moins exposée à la rupture, sa dilatation sous l'influence de la chaleur étant plus uniforme. (Les tuyères à courant d'eau consistent quelquefois en un tube spiraliforme en fer doux, disposé en forme d'un tronc de cône et autour duquel de la fonte a été coulée.)

Les tuyères à courant d'eau sont faites en fonte, en fer doux, en cuivre ou en bronze.

Les tuyères en fonte sont les moins résistantes. On les emploie pour les fours à température pas trop haute et à vent froid, surtout dans l'extraction du cuivre, de l'argent et du plomb. Les tuyères en fer doux résistent plus longtemps que celles en fonte, mais elles sont plus difficiles à tenir étanches. C'est pour cela que depuis quelque temps on emploie pour les fours à vent chaud et à haute température (hauts fourneaux à fer) des tuyères en bronze ou en bronze phosphoreux.

Dans les petits fours (extraction du cuivre, du plomb, de l'argent), les tuyères sont placées dans une ouverture particulière ménagée dans leurs parois et ensuite consolidées au moyen d'argile réfractaire pilonnée. Dans les grands fours (hauts fourneaux à fer), elles sont fixées dans un cadre refroidi avec de l'eau et qui, de même que la tuyère, peut être retiré du four. Comme le nez de la tuyère est seul exposé à l'usure, on a dans ces derniers temps construit un grand nombre de tuyères munies d'un nez qui peut en être séparé. Ce nez est fixé à la tuyère au moyen de crochets ou il y est vissé.

L'espace creux des tuyères à courant d'eau (dans lequel se trouve l'eau de réfrigération) est fermé du côté du nez, et du côté opposé il est fermé ou ouvert.

On distingue d'après cela les tuyères *fermées* et les tuyères *ouvertes*. Dans les tuyères fermées il se forme facilement des incrustations et des dépôts de boue, surtout dans le nez, qui est la partie la plus exposée à la chaleur. Afin de pouvoir nettoyer commodément ces tuyères, on les a coulées ouvertes en arrière et munies en ce point d'un couvercle mobile (fig. 659 et 660). Le couvercle *f* est fixé à la tuyère au moyen de crochets qui s'agrafent dans des anneaux *e* (fig. 659) ou à l'aide de vis (fig. 660).

La circulation de l'eau dans les tuyères fermées a lieu de façon que le liquide pénètre par un tube mince *a* (fig. 661) dans la partie la plus basse de l'espace creux et qu'elle sorte par le tube *b* de la partie la plus haute. Si l'on voulait faire entrer l'eau dans la partie supérieure de l'espace creux et la faire sortir par sa partie inférieure, il pourrait facilement se former de la vapeur d'eau, ce qui n'est pas possible avec la disposition indiquée en premier lieu, tant qu'il n'y a pas d'interruption dans l'entrée et la sortie

de l'eau. Comme le nez de la tuyère doit être le plus fortement refroidi, on pousse le tube amenant l'eau froide jusque dans le nez (fig. 662).

Le point où l'eau sort de la tuyère doit rester ouvert, afin que l'on puisse observer la température de l'eau qui s'écoule.

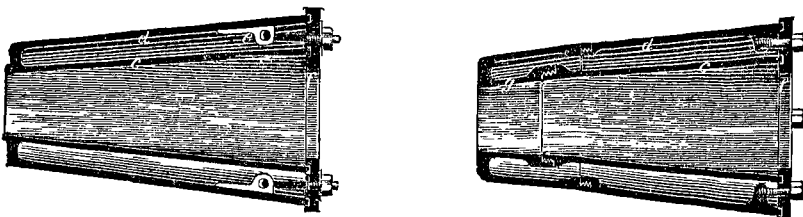


Fig. 659 et 660. — Tuyères fermées au moyen d'un couvercle mobile.

Les tuyères ouvertes à l'arrière permettent d'en opérer commodément le nettoyage et c'est pour cela qu'elles sont employées avec les caux qui déposent beaucoup et donnent facilement des incrustations.

La tuyère d'HILGENSTOCK, qui appartient à cette catégorie, est représentée par la figure 663. *a* est la tuyère en tôle ouverte à l'arrière, *d* est un

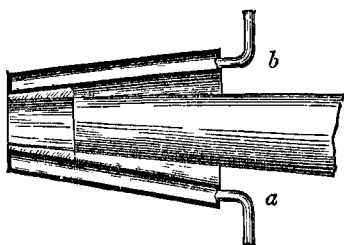


Fig. 661. — Mode de circulation de l'eau dans les tuyères fermées.

tuyau se terminant dans la partie supérieure de l'intervalle entre les parois par une sorte de pomme d'arrosoir aplatic munie d'un grand nombre d'ouvertures, desquelles l'eau est projetée en nombreux jets contre les parois de la tuyère. Le liquide se rassemble dans la partie inférieure de l'espace creux, d'où il s'écoule dans la caisse en tôle *b*, où se trouve la tuyère, et cette caisse est de son côté arrosée par l'eau s'écoulant du tuyau *c*.

Dans la tuyère de TEICHMANN, qui est représentée par la figure 664, l'eau est projetée en minces filets, par les orifices du tube *b*, contre les parois de la tuyère, elle coule sur celles-ci et s'échappe par le tuyau *a*.

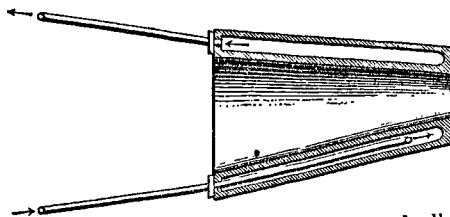


Fig. 662. — Disposition des tuyaux d'entrée et de sortie de l'eau dans les tuyères fermées.

A propos des fours à cuve, nous avons déjà donné les indications nécessaires relativement au nombre et la position des tuyères.

Le diamètre de l'œil de la tuyère est ordinairement égal à celui de la plus petite extrémité de la buse.

Afin que le vent puisse pénétrer dans le milieu du four, on fait souvent déborder à l'intérieur des fours à cuve le nez de la tuyère d'une certaine longueur, qui dépend de la grandeur du four, de la pression et de

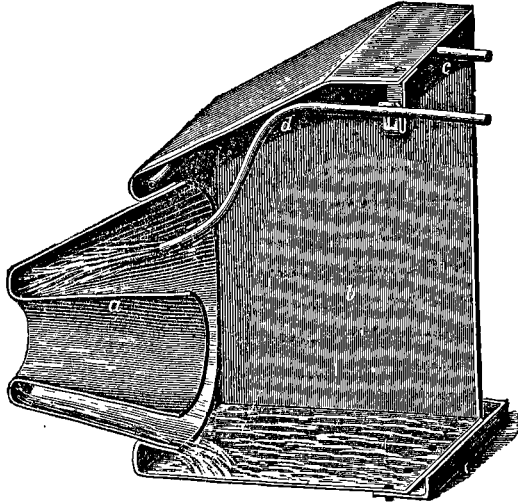


Fig. 663. — Tuyère ouverte d'Hilgenstock (tuyère à injection).

la température du vent, ainsi que de la nature du lit de fusion (dans les hauts fourneaux à fer la saillie intérieure des tuyaux va jusqu'à 300 millimètres).

Afin d'éviter des pertes de vent, il est convenable de fermer l'intervalle entre la paroi intérieure de la tuyère et la buse. Lorsqu'on se sert de vent chaud, cette fermeture est nécessaire, parce que autrement de l'air froid serait aspiré par la tuyère. Pour obtenir cette fermeture, on place entre la buse et la tuyère un anneau d'argile ou de métal, ou on munit l'extrémité antérieure de la buse d'un renflement, qui s'appuie sur la surface intérieure de la tuyère ou bien encore on place dans l'extrémité antérieure de la tuyère une pièce tournée, à laquelle s'adapte exactement l'extrémité également tournée de la buse. Ce dernier mode de fermeture s'est montré le meilleur.

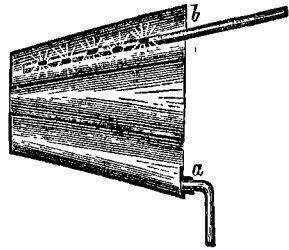


Fig. 664. — Tuyère ouverte de Teichmann (tuyère à injection).

#### *Boîtes et fentes à vent.*

Si la conduite du vent ne se termine pas dans des buses, on emploie des boîtes à vent avec fentes ou avec ouvertures tubulaires. Dans les fours à cuve, les boîtes à vent sont placées en couronne autour du four ; dans les convertisseurs Bessemer, elles se trouvent au-dessous de l'appareil ou bien elles sont disposées également en couronne autour de ce dernier (convertisseurs pour cuivre).

Un four à cuve (cubilot) avec boîte à vent et ouvertures d'entrée du vent en forme de fente est représenté par la figure 665. *a, a* sont les fentes, par lesquelles la boîte à vent communique avec l'intérieur du four.

La figure 666 représente un convertisseur Bessemer, avec boîte à vent en dessous. *g* est la conduite du vent tournant avec l'appareil et qui

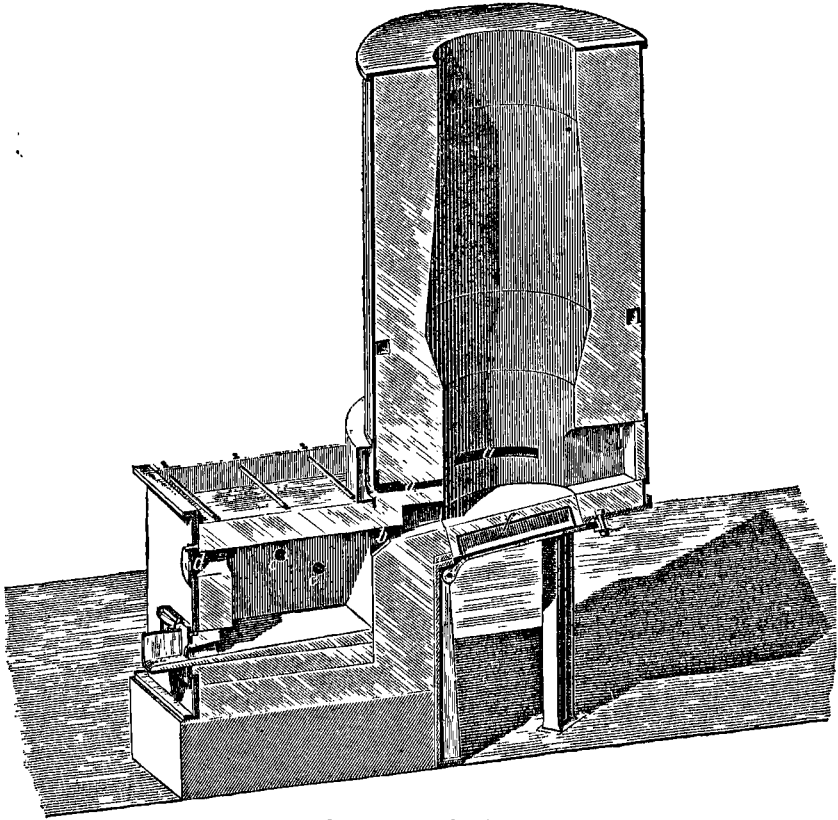


Fig. 665. — Cubilot.

débouche dans la boîte à vent *d*; *c, c, c* sont les ouvertures d'introduction du vent (ouvertures des tuyères) de forme conique, qui sont ménagées dans le fond du convertisseur, garni d'une masse réfractaire. Les figures 667 et 668 montrent un convertisseur Bessemer pour l'extraction du cuivre du cuivre sulfuré; il est pourvu d'une boîte à vent en couronne et d'ouvertures latérales, pour l'introduction du vent.

*Calcul du diamètre des conduites de vent.*

Le diamètre minimum des conduites de vent est calculé en mètres d'après la formule :

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{Q}{v}},$$

dans laquelle  $Q$  est la quantité de vent en mètres cubes traversant la conduite et  $v$  la vitesse du vent en mètres par seconde.

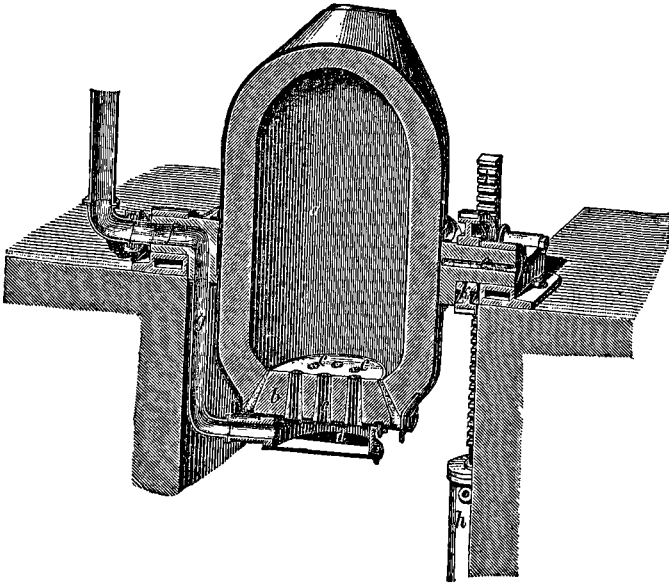


Fig. 666. — Convertisseur Bessemer.

β) Appareils agissant par aspiration.

Comme on l'a déjà dit (p. 397), les appareils fournissant l'air par aspiration agissent de façon que la tension de l'espace dans lequel l'air doit

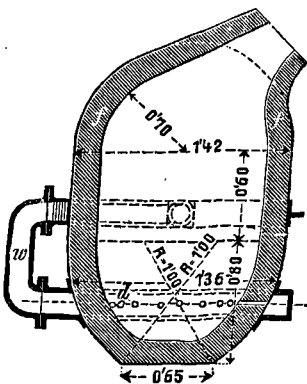


Fig. 667. — Convertisseur Bessemer pour cuivre ; coupe verticale.

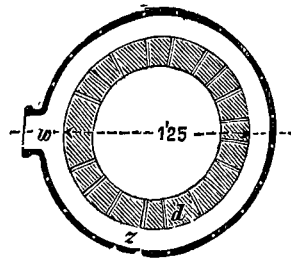


Fig. 668. — Convertisseur Bessemer pour cuivre ; coupe horizontale.

être employé soit abaissée au-dessous de la tension de l'atmosphère, de telle sorte que l'air est forcé d'affluer de l'atmosphère dans cet espace.

Dans les dispositifs de cette espèce, l'air passe directement de l'atmosphère dans le lieu de son emploi. Dans ce cas, les dispositifs pour conduire l'air font par conséquent défaut.

Les dispositifs fournissant l'air par aspiration sont les cheminées et les exhausteurs.

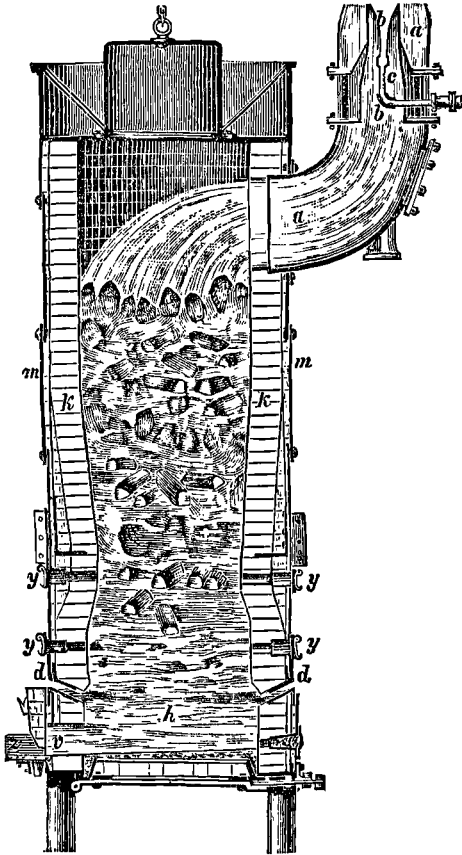


Fig. 669. — Four d'Herbetz (four à jet de vapeur) pour la refonte du fer brut.

bifères et cuprifères facilement fusibles. La figure 669 représente un pareil four pour la refonte du fer brut (four d'HERBETZ). *a* est le tuyau abducteur des gaz ; dans ce tuyau, est disposé un tube *b*, allant en se rétrécissant par en haut, et dans ce dernier l'injecteur *c*. L'air pénètre par la fente *d*, qui peut être élargie ou rétrécie (voy. p. 399), tandis que les gaz s'échappent par le tuyau *a* et montent partie dans le tube de l'injecteur *b*, partie dans l'espace annulaire qui se trouve entre le tuyau *a* et le tube *b*.

On se sert aussi d'injecteurs à vapeur pour augmenter le tirage des cheminées.

Les ventilateurs sont employés, lorsqu'il s'agit d'économiser les frais

Les cheminées, dont le mode d'action et les dispositions ont été décrits dans le quatrième chapitre (p. 291), ne donnent que des pressions de 4 à 5 millimètres de mercure. Elles sont employées dans les cas où de fortes pressions ne sont pas nécessaires, c'est-à-dire : avec les fours à réverbère (pour fournir aussi bien l'air de combustion que l'air d'oxydation), avec les fours à mouffles, à creusets, etc., pour fournir l'air de combustion et dans quelques cas aussi l'air d'oxydation (grillage oxydant), avec les fours-tas (stalles de grillage) pour fournir l'air de combustion et l'air d'oxydation. Elles ne sont qu'exceptionnellement employées avec les fours à cuve (fours à plomb castillans).

Comme *exhausteurs*, on se sert d'injecteurs à vapeur ou de ventilateurs. Ces appareils aspirent les gaz du four et les dirigent dans une cheminée ou au dehors.

On emploie des injecteurs à vapeur avec les *fours à cuve* pour la refonte du fer brut, pour la fusion d'alliages, ainsi que lors du traitement de lits de fusion plombifères et cuprifères facilement fusibles.

de construction d'une cheminée, pour éliminer des gaz nuisibles des fours ou utiliser des corps contenus dans les gaz des fours.

#### Mesure de la tension du vent.

On mesure la tension du vent à l'aide de manomètres à eau, de manomètres à mercure ou de manomètres métalliques. On emploie les manomètres à eau pour les basses pressions, parce que la colonne d'eau est soumise à de plus grandes variations que la colonne de mercure. On se sert de manomètres métalliques (de SCHÄFFER et BUDENBERG, de GÄBLER) pour le vent chaud, ainsi que pour le vent froid sous haute tension. Avec la pression mesurée au moyen d'une colonne d'eau, on obtient la pression de la colonne de mercure correspondant en divisant la hauteur de la colonne d'eau par le poids spécifique du mercure, c'est-à-dire par 13,6.

Le tableau suivant indique la correspondance des valeurs de la pression en eau, en mercure, en poids et en atmosphères :

COLONNE D'EAU millim. de hauteur.	COLONNE DE MERCURE millim. de hauteur	POIDS gr. par cm <sup>2</sup> .	ATMOSPHÈRES
10	0,736	1	0,0009
13,6	1	1,36	0,0013
731	53,77	73,1	0,07075
10333	760	1,033	1

#### Mesure de la température du vent.

Pour mesurer la température du vent chauffé, on se sert des pyromètres, dont il a été question précédemment. Le pyromètre thermo-électrique de LE CHATELIER et les calorimètres de FISCHER et de SALLERON conviennent particulièrement pour cet usage.

#### Détermination des quantités de vent fournies aux fours par les souffleries.

Les quantités de vent apportées aux fours par les souffleries peuvent être déterminées d'après différentes méthodes, parmi lesquelles cependant il n'en est pas une seule qui donne des résultats exacts. Ces méthodes sont basées sur la détermination de la quantité de vent aspirée en un temps donné par la soufflerie, sur la détermination de la quantité de vent insufflée dans le four en un temps donné à l'extrémité des conduites et aussi, dans le cas des fours à cuve, sur la détermination du carbone consommé dans ces fours en un temps donné, ainsi que sur la détermination des quantités d'azote qui en sortent en un temps donné.

#### *Détermination de la quantité de vent fournie au four d'après la quantité aspirée par la soufflerie.*

La détermination de la quantité de vent fournie au four d'après la quantité aspirée par la soufflerie, telle qu'elle peut être effectuée, par

exemple, pour la soufflerie cylindrique d'après la grandeur de la surface du piston et de sa vitesse, donne des valeurs trop élevées, parce que dans le trajet de la soufflerie au four il se produit toujours des pertes de vent. Le rapport entre la quantité du vent aspiré et celle du vent soufflé oscille, suivant la longueur de la conduite, entre 1 : 0,50 et 1 : 0,75.

*Détermination de la quantité de vent fournie au four  
d'après la quantité qui y est insufflée.*

La détermination de la quantité de vent fournie au four d'après la quantité qui y est insufflée donne de meilleurs résultats, mais elle est également inexacte, parce que la tension du vent dans le four ne peut pas être exactement déterminée et parce que la tension sur les parois des orifices de sortie du vent est, par suite du frottement qui s'y produit, plus faible que dans le milieu de ces orifices.

La quantité du vent insufflé dans le four est égale au produit de la section de l'orifice de sortie du vent qui se trouve à l'extrémité de la conduite (ou de la somme des sections des orifices de sortie du vent) par la vitesse du vent sortant.

D'après HAUER, la quantité de vent par minute (M) est, réduite à la température de 0° et à la pression barométrique moyenne, égale à :

$$M = 21\,110 \lambda d^2 \sqrt{\frac{b + h^2}{1 + \alpha t}}, \quad (h^1 - h^2) \text{ mètres cubes,}$$

si  $d$  est le diamètre de l'orifice de sortie,

$b$  la hauteur barométrique en millimètres de mercure,

$h^1$  = la tension du vent lue sur le manomètre, exprimée par la hauteur d'une colonne de mercure en millimètres,

$h^2$  = la tension du vent dans le four mesurée de la même manière,

$\alpha$  = le coefficient de dilatation de l'air

$$= 0,003665 = 1/273,$$

$t$  la température de l'air dans la conduite du vent;

$\lambda$  est un facteur de correction

$$= 1 - 0,03 \frac{h^1 - h^2}{b + h^2}.$$

Si l'on réduit la quantité de vent à la température  $t_s$  et à la tension  $p_s$  de l'espace duquel la soufflerie aspire, la quantité de vent corrigée ( $M_s$ ) est :

$$M_s = \frac{(1 + \alpha t_s) \beta}{b} M.$$

Ici,  $\beta = 760$  millimètres.

v. HAUER<sup>1</sup> a calculé et groupé dans des tableaux les quantités de vent correspondant aux orifices de sortie et aux tensions de vent les plus différents.

1. *Die Hüttenwesenmaschine*, Wien, 1867.



*Détermination de la quantité de vent fournie aux fours à cuve  
par dosage du carbone consommé.*

Cette méthode, qui ne fournit également que des valeurs approximatives, est basée sur cette hypothèse, que tout le carbone qui pénètre dans le four en un temps déterminé est brûlé à l'état d'oxyde de carbone par l'oxygène du vent insufflé ou que tout l'oxygène arrivant dans le four est employé à la formation d'oxyde de carbone. Si cette hypothèse était exacte, on pourrait donc avec la quantité de carbone brûlée dans le four en un espace de temps déterminé, calculer facilement la quantité de l'oxygène introduit dans le four dans le même temps et d'après cette quantité calculer celle de l'air insufflé dans le four.

Mais une partie du carbone est oxydée par l'oxygène des minerais, une autre partie est employée, lors de l'extraction de la fonte, pour la carburation du fer. La quantité du vent déterminée d'après cette méthode doit, par suite, dans le cas de l'extraction de la fonte, être plus petite que la quantité de vent réellement introduite dans le four.

*Détermination de la quantité de vent d'après la teneur en azote  
des gaz du four.*

La détermination de la quantité de vent d'après la teneur en azote des gaz du four est basée sur cette hypothèse, que l'air soufflé dans le four traverse ce dernier sans que sa teneur en azote soit modifiée et que la quantité d'azote que l'air renfermait avant son entrée dans le four peut être retrouvée dans les gaz sortant du gueulard. Si, par conséquent, on connaît la quantité de l'azote sortant du four en un temps déterminé, on peut calculer facilement la quantité de l'air introduite dans le four dans le même temps.

Il faut pour cela connaître la composition des gaz du gueulard et la quantité de ces gaz s'échappant de ce dernier en un temps donné.

La composition des gaz du gueulard est déterminée par l'analyse chimique. On peut calculer leur quantité, si l'on connaît la quantité du carbone introduit dans le four en un temps déterminé, la quantité du carbone contenu dans les métaux extraits et la proportion du carbone des gaz du gueulard, comparée à celle de ses autres éléments.

Le carbone contenu dans le combustible, dans les minerais et dans les fondants, à l'exception du carbone absorbé par les métaux (fer), est passé dans les gaz du gueulard. En retranchant le carbone absorbé par les métaux de la quantité totale du carbone introduit dans le four en un temps déterminé, on obtient la quantité du carbone passé en un temps déterminé dans les gaz du gueulard, et par le rapport de ce carbone avec d'autres éléments des gaz du gueulard, on obtient la quantité de ces derniers.

En déterminant la teneur en azote des gaz du gueulard, on peut donc arriver à connaître la quantité de l'azote sortant du four dans l'unité de temps, et d'après cette quantité la quantité d'air introduite dans le four.

Cette méthode donnerait de bons résultats, mais elle est très compliquée et ne saurait par suite être employée qu'exceptionnellement.

### e. — MONTE-CHARGE

Les *monte-charge* sont des dispositifs destinés à élever les minerais, les produits métallurgiques, les fondants et les combustibles au niveau du gueulard des fours. Ils ne sont inutiles que lorsque les fours à cuve sont établis de façon que les lieux de dépôt pour les corps en question se trouvent au même niveau que le gueulard, dans lequel cas le transport a lieu sur une voie horizontale. Dans tous les autres cas, des dispositifs de levage, les monte-charge, sont nécessaires. Ces appareils élèvent ordinairement les matières en direction verticale, plus rarement en direction inclinée. On peut employer comme monte-charge tous les dispositifs usités pour soulever des fardcaux à une faible hauteur, mais nous ne nous occuperons dans les pages suivantes que des monte-charge qui sont spécialement en usage dans les usines métallurgiques.

Les corps à élever à l'aide de ces monte-charge y sont toujours introduits dans des wagonnets ou des brouettes, qui sont eux-mêmes placés dans des cages ou sur des plates-formes particulières.

Les plates-formes ou les cages sont fixées à des *cordes* ou à des *chaînes* (sans fin), auxquelles on peut imprimer un mouvement ascendant ou descendant, ou bien elles reposent sur des corps *cylindriques rigides*, dont la longueur est égale à la hauteur à laquelle les matières doivent être élevées et que l'on peut faire mouvoir de bas en haut et de haut en bas. Les premiers appareils sont appelés *monte-charge à cordes* ou *monte-charge à chaînes*, et les derniers *monte-charge sans cordes* ou *chaînes*. Dans les deux cas, la cage se meut dans une tour ou une charpente en maçonnerie en bois, en fer, dite *tour de chargement*. Les monte-charge possèdent deux plates-formes ou cages, dans lequel cas l'une d'elles monte, pendant qu'en même temps l'autre descend, ou bien ils ne sont pourvus que d'une seule plate-forme ou cage, qui monte et descend alternativement. On nomme les dispositifs de la première espèce monte-charge à double effet et ceux de la seconde monte-charge à simple effet. Les monte-charge à cordes sont à double ou à simple effet, tandis que les monte-charge sans cordes sont à simple effet.

#### Monte-charge à cordes ou à chaînes.

Les plus importants de ces appareils sont : 1° les monte-charge à tambour, 2° les monte-charge avec chaîne sans fin, 3° les monte-charge à balance d'eau ; 4° les monte-charge hydrauliques et à vapeur avec transmission à moufles, et 5° le monte-charge pneumatique de GERRS.

#### *Monte-charge à tambour.*

Les monte-charge à tambour sont à double ou à simple effet.

Le monte-charge à tambour à simple effet se compose d'un tambour, mis en rotation par un moteur, sur lequel une corde s'enroule ou se déroule, et d'une molette disposée au-dessus du gueulard, sur laquelle passe la corde en question, ainsi que de la cage fixée à l'extrémité de

cette corde. Lorsque la corde s'enroule sur le tambour, la cage monte du sol de l'usine vers le gueulard, tandis que lorsqu'elle se déroule, elle descend de ce dernier vers le sol.

Dans le monte-charge à double effet, deux cordes s'enroulent en sens contraire sur le tambour et chacune d'elles passe sur une molette particulière. Lors de la rotation du tambour, une corde s'enroule, l'autre se déroule, c'est-à-dire qu'une cage monte et que l'autre descend. Les monte-charge à double effet transportent dans le même temps deux fois plus de matériaux que les appareils à simple effet.

La rotation du tambour est produite au moyen de machines à vapeur ou de roucs hydrauliques. Dans beaucoup de cas, la rotation est obtenue au moyen d'une machine servant à d'autres usages, par l'intermédiaire d'une transmission latérale, embrayable et débrayable, partant de l'arbre principal.

Les machines à vapeur sont ordinairement placées sur le sol de l'usine, à côté de la tour de chargement. Les machines jumelles sans volant sont les plus avantageuses.

Pour les fours de faible hauteur, on établit aussi les machines à vapeur au gueulard. Mais avec cette disposition il est nécessaire de prolonger la conduite de vapeur jusqu'au gueulard, et alors pendant le travail il se produit facilement des secousses dans la tour de chargement.

Les monte-charge à tambour à double effet sont employés de préférence aux autres, à cause de leur grand rendement. Ces appareils, appliqués aux petits fours, ont une vitesse de 0,5 à 1 mètre par seconde; pour les fours de grande hauteur, la vitesse par seconde est égale à 1-2 mètres.

Comme roues hydrauliques, on emploie des roues à double direction, comme celles dont on se sert dans l'exploitation des mines pour l'extraction.

Les monte-charge destinés au service des fours, comme les appareils qui sont en usage dans les mines pour l'extraction, sont munis de dispositifs de sûreté destinés à empêcher la descente accidentelle des cages et la chute des ouvriers dans le tour de chargement.

#### *Monte-charge avec chaîne sans fin.*

Dans les monte-charge de cette espèce, les vases à élever sont suspendus à une chaîne sans fin passée sur deux molettes et qui se meut sans interruption dans la même direction. On emploie aussi bien une seule chaîne que deux chaînes. L'une des deux molettes est actionnée par un moteur. La traction se fait sur un plan incliné ou verticalement. Dans le premier cas, on suspend les vases à élever à la chaîne sans fin au moyen de crochets. Dans le second, deux chaînes parallèles se meuvent dans la même direction. Les vases s'accrochent par des saillies ou des boucles à des crochets ou des pointes fixées sur les chaînes.

#### *Monte-charge à balance d'eau.*

Ce sont des monte-charge à double effet. Ils se composent d'une molette disposée au-dessus du gueulard, d'une corde passant sur celle-ci

et de cages fixées aux extrémités de la corde, lesquelles sont munies de caisses ou réservoirs pouvant contenir de l'eau. Ces caisses à eau se trouvent au-dessous du fond des cages, de sorte que les wagonnets ou les brouettes reposent immédiatement sur les caisses. Le poids de l'eau que doit recevoir une caisse s'élève à 1,25-1,50 fois celui de la charge à monter. Lorsque le monte-charge est au repos, une cage se trouve au gueulard, l'autre sur le sol de l'usine. Si maintenant on remplit avec de l'eau le réservoir de la cage chargée du wagonnet vide qui se trouve au gueulard, la cage devient plus lourde que celle qui se trouve sur le sol de

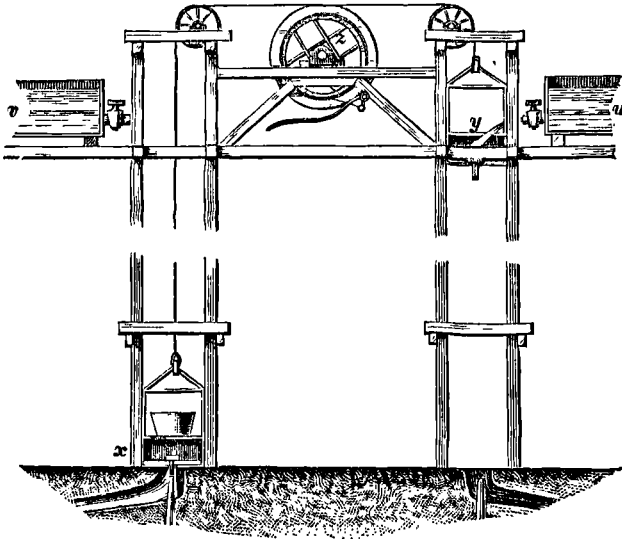


Fig. 670. — Monte-charge à balance d'eau.

l'usine, chargée du wagonnet plein et la fait monter au gueulard, tandis qu'elle-même descend sur le sol, où le réservoir se vide par l'ouverture automatique d'une soupape.

Pour remplir d'eau les réservoirs lorsqu'ils se trouvent au gueulard, il y a sur la plate-forme de celui-ci des bassins que l'on tient toujours pleins d'eau. Comme le poids de la partie qui descend s'accroît par suite de l'augmentation du poids de la corde et que le poids de la partie qui monte diminue d'autant, la molette est munie d'un frein, à l'aide duquel on empêche une descente trop rapide et le choc des cages sur le sol. Il y a aussi un dispositif qui retient la cage arrivée au gueulard.

La figure 670 représente la disposition d'un monte-charge à balance d'eau. *v* et *w* sont les bassins contenant l'eau pour le chargement des caisses *x* et *y*; *z* est le frein.

Les monte-charge à balance d'eau sont simples, ils n'exigent pas de grands frais d'établissement, leur conduite est peu coûteuse, mais ils ont l'inconvénient de ne pouvoir pas être utilisés en hiver, lorsque le froid est assez intense pour congeler l'eau des bassins et des réservoirs des cages,

ainsi que des tuyaux d'alimentation. Ils sont employés dans la métallurgie des métaux autres que le fer.

*Monte-charge hydrauliques et à vapeur avec transmission à moulles.*

Les monte-charge de cette espèce, qui sont toujours à simple effet, peuvent être actionnés aussi bien par l'eau que par la vapeur. Le câble est enroulé autour d'une poulie mobile et autour d'une poulie fixe et ensuite passé sur une molette qui se trouve dans la tour du chargement. La cage est fixée à l'extrémité du câble. La poulie mobile est reliée à un

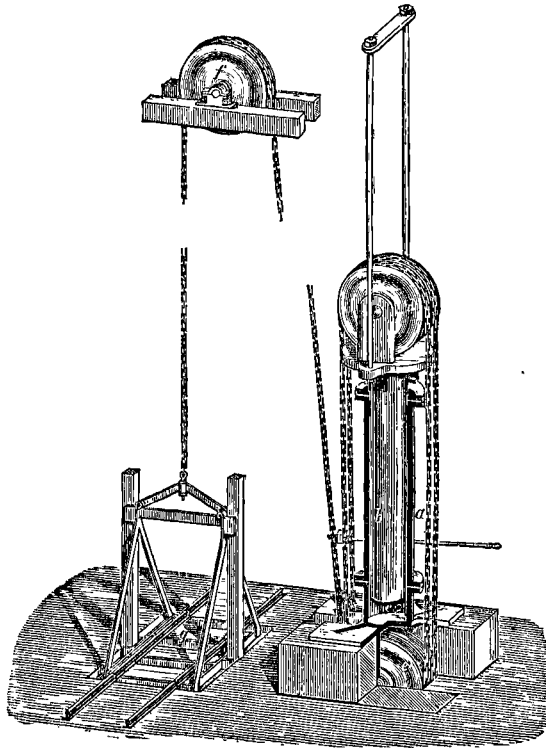


Fig. 671. — Monte-charge hydraulique avec transmission à moulles.

piston vertical, qui est soulevé dans un cylindre par pression hydraulique ou au moyen de vapeur et qui descend par son propre poids. Le mouvement du piston est donc ici transmis par une moufle. Avec *une seule* poulie mobile, la hauteur à laquelle la charge est montée s'élève au double de la hauteur de la course du piston. On n'emploie pas ordinairement plus d'une poulie mobile, parce que autrement les résistances à surmonter s'accroissent et le danger de la rupture du câble devient plus grand.

La disposition d'un pareil monte-charge actionné par l'eau est mise en évidence par la figure 671.

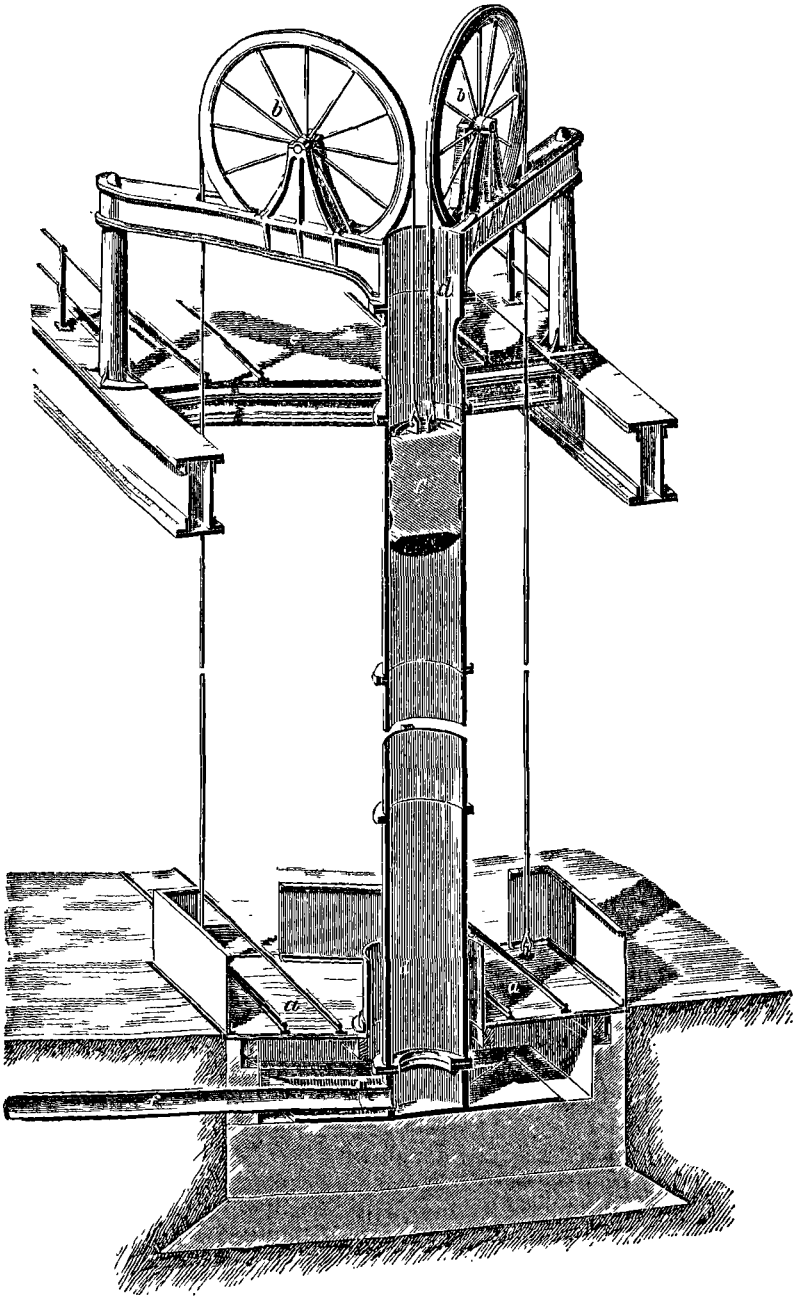


Fig. 672. — Monte-charge pneumatique de Giers.

*a* est le cylindre dans lequel le piston *b* est soulevé par pression hydrau-

lique ; *c* est la poulie fixe, *d* la poulie mobile reliée au piston ; *f* est la molette, *g* la cage. Lorsque le piston est soulevé, la cage monte, et elle descend lorsque le piston s'abaisse.

Ces appareils trouvent emploi pour élever des charges à de faibles hauteurs et ils sont fréquemment actionnés par la vapeur.

#### *Monte-charge pneumatique de Gjerns.*

La disposition de ce monte-charge à simple effet, mû par la pression atmosphérique, est représentée par la figure 672.

A la partie supérieure d'un piston *c*, mobile de bas en haut et de haut en bas dans un cylindre ouvert supérieurement, sont attachées quatre cordes passant chacune sur une molette particulière *b, b*. Les extrémités de ces cordes sont fixées à la cage *a, a*. Le poids de cette dernière, ainsi que le poids des wagonnets et d'une partie de la charge sont contre-balancés par le poids du piston. Si maintenant, à l'aide d'une pompe à air, on aspire par le tuyau *f* une partie de l'air du cylindre, la pression atmosphérique fait descendre le piston dans ce dernier et la cage monte ; si ensuite on condense l'air au-dessous du piston, celui-ci monte et la cage descend.

Ces monte-charge ont l'avantage d'être à mouvement très doux et de mettre à l'abri de tout accident. Mais leur installation est très coûteuse, et pour la raréfaction de l'air dans le cylindre au delà d'une certaine limite, ils exigent une grande dépense de force.

Ils trouvent emploi dans les usines à fer.

#### **Monte-charge sans corde.**

Aux monte-charge de cette espèce appartiennent les appareils hydrauliques et pneumatiques à action directe.

#### *Monte-charge hydrauliques ou à colonne d'eau.*

Dans ces dispositifs, un piston, à l'extrémité supérieure duquel est adaptée une plate-forme pour recevoir les wagonnets, est soulevé et abaissé. Le piston se trouve dans un cylindre vertical établi dans le sol de l'usine et dont la longueur est égale à la hauteur à laquelle la charge doit être élevée. Au-dessous du piston, on fait arriver de l'eau d'un réservoir placé à un niveau supérieur ou d'un accumulateur. Le piston est soulevé par la pression de l'eau, tandis que lorsqu'on fait écouler celle-ci, il descend par son propre poids.

La figure 673 représente un pareil monte-charge.

*m* est le cylindre établi dans un puits au-dessous du sol de l'usine, *k* le piston, *s* la plate-forme fixée à son extrémité supérieure, *r* le tuyau par lequel l'eau arrive au-dessous du piston. Le tuyau,

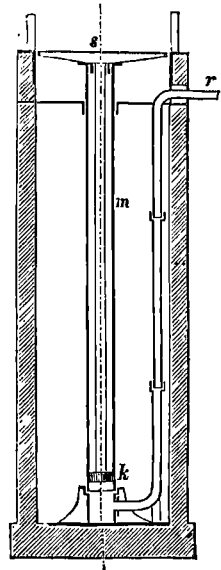


Fig. 673. — Monte-charge hydraulique.

non visible dans la figure, par lequel l'eau est écoulee, se trouve dans le point le plus bas du cylindre.

En se servant de la transmission par mofles dont il a déjà été question, on peut (en employant une seule poulie mobile) raccourcir de moitié la course du piston. Mais on a alors un appareil à corde.

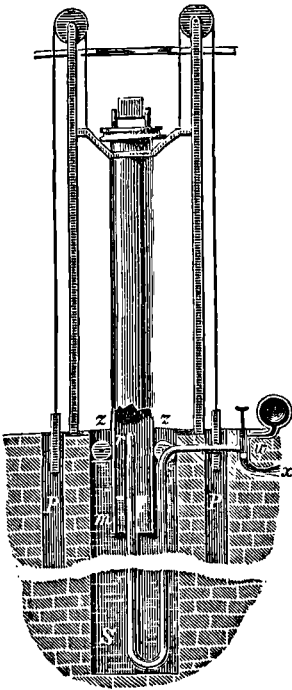


Fig. 674. — Monte-charge pneumatique de Gibbon.

Les monte-charge hydrauliques ont l'inconvénient d'exiger l'établissement dans le sol de l'usine d'un puits d'une profondeur égale à la hauteur du cylindre, c'est-à-dire à la hauteur à laquelle la charge doit être montée. C'est pour cela qu'on ne les emploie que dans les cas où cette hauteur n'est pas grande.

#### *Monte-charge pneumatiques à action directe.*

Dans ces dispositifs, on emploie pour élever la charge, au lieu de l'eau, de l'air comprimé. Le plus connu des monte-charge de cette espèce est celui de GIBBON; il est représenté par la figure 674.

Dans un puits S, établi dans le sol de l'usine et rempli d'eau, on plonge un cylindre en tôle z, ouvert inférieurement en m et muni supérieurement d'une plate-forme pour recevoir les wagonnets. Si par le tuyau r on introduit de l'air comprimé dans le cylindre, celui-ci monte; si l'on fait sortir l'air (en ouvrant la soupape w du tuyau x), il descend. Le poids du cylindre est contre-balancé par les contre-poids P, P.

Ce monte-charge, comme celui de GJERS, a l'avantage d'être à mouvements très doux et de mettre à l'abri de tout accident; mais son installation est coûteuse et son rendement est restreint, de sorte qu'il n'est que rarement employé.

## 2. — Dispositifs de séparation par voie humide.

On distingue ces dispositifs en :

- A. Dispositifs pour la voie humide dans le sens étroit ;
- B. Dispositifs pour les procédés par amalgamation ;
- C. Dispositifs et accessoires fonctionnant en même temps que les dispositifs de séparation.

### A. — Dispositifs pour la voie humide dans le sens étroit.

Ces dispositifs servent pour dissoudre ou lessiver, pour filtrer, pour clarifier, pour concentrer des liquides, pour précipiter, pour dessécher



des corps solides traités par des liquides, pour faire cristalliser, pour distiller.

*a. — Dispositifs pour dissolutions ou lixiviations.*

Les dispositifs pour dissolutions sont employés lorsque le corps à traiter doit être dissous aussi rapidement que possible, soit complètement, soit en laissant un faible résidu.

On a recours aux dispositifs pour lixiviations, lorsque le corps à traiter laisse lors de la dissolution un résidu relativement considérable, ou lorsque des corps qui ne laissent qu'un faible résidu exigent pour la dissolution un temps relativement long, comme, par exemple, lors de la séparation du cuivre et de l'argent à l'aide de l'acide sulfurique dilué.

*α. — Dispositifs pour dissolutions.*

Ils consistent en vases offrant les formes les plus différentes. Ils sont faits d'une matière qui n'est attaquée ni par le dissolvant, ni par la disso-

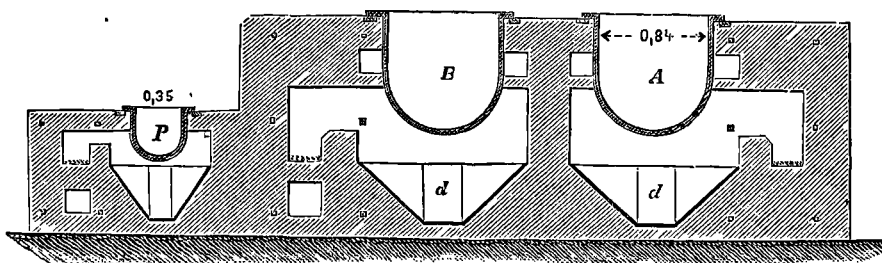


Fig. 675. — Chaudières en fonte pour la dissolution d'alliages d'or-argent par l'acide sulfurique (affinage par l'acide sulfurique) ; coupe longitudinale.

lution obtenue. Ainsi, pour dissoudre l'argent d'alliages d'or-argent au

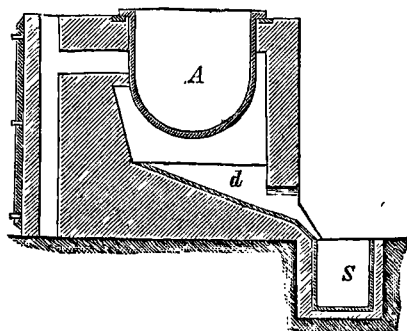


Fig. 676. — Chaudières en fonte pour la dissolution d'alliages d'or-argent; coupe transversale.

moyen de l'acide sulfurique concentré bouillant, on se sert de *chaudières en fonte*, comme celles qui sont représentées par les figures 675 et 676,

ou, s'il s'agit de petites quantités, de *vases en porcelaine*, qui, placés dans une carcasse en fer, sont installés dans une chaudière en fonte (fig. 677 et 678) ; on emploie des vases en porcelaine (fig. 679) placés dans un bain

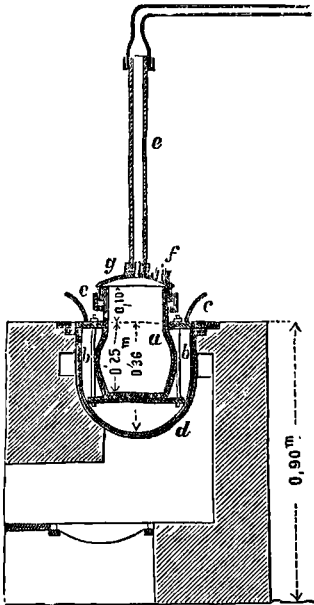


Fig. 677. — Vase en porcelaine pour la dissolution d'alliages d'or-argent par l'acide sulfurique; coupe verticale.

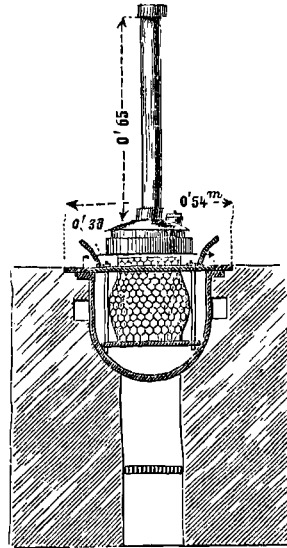


Fig. 678. — Vase en porcelaine pour la dissolution d'alliages d'or-argent; vue extérieure.

de sable pour dissoudre l'or de schlamms d'or argentifères au moyen de l'eau régale ; des *vases cylindriques en plomb* pour dissoudre l'oxyde de cuivre d'oxyde de cuivre argentifère à l'aide d'acide sulfurique dilué (Freiberg) ; des *chaudières en plomb* pour dissoudre le sulfate de cuivre d'un mélange d'argent et de vitriol bleu à l'aide d'eau ou d'eau-mère bouillantes (Altenau, Oker) ; des *vases cylindriques en fer doux* pour dissoudre l'oxyde de zinc d'un mélange de plomb argentifère, d'oxyde de plomb et d'oxyde de zinc à l'aide d'une solution de carbonate d'ammonium ; des *cylindres en plomb verticaux* pour dissoudre le sulfate de fer d'une matte contenant du sulfure d'argent, du sulfure de cuivre et du sulfure de fer.

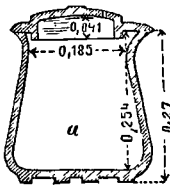


Fig. 679. — Vase en porcelaine pour la dissolution de schlamms d'or argentifères par l'eau régale.

La dissolution est favorisée aussi bien par la chaleur que par l'agitation des corps à dissoudre. C'est pour cela que les vases pour la dissolution de l'oxyde de zinc et du sulfate de fer indiqués en dernier lieu sont munis d'agitateurs. Lorsqu'on emploie des dissolvants volatils, les vases doivent pendant le travail être hermétiquement clos. Les figures 680, 681 et 682

représentent un pareil vase qui est employé pour la dissolution de l'oxyde de zinc d'un mélange d'oxyde de zinc, d'oxyde de plomb et de plomb argentifère, à l'aide du carbonate d'ammonium. C'est une chaudière cylindrique en fer doux avec agitateur. *a* est une ouverture pour le chargement de la matière à traiter; elle peut être fermée hermétiquement au moyen d'un couvercle s'appliquant sur un anneau en caoutchouc; *b* est un tube à soupape pour l'introduction de l'ammoniaque liquide; *c* et *d* sont des ouvertures, également munies de soupapes, pour l'écoulement de la solution de zinc; *g* est un trou d'homme pour l'enlèvement des résidus; *f* un tube pour l'introduction de l'eau de lavage dans le cylindre; *e* un autre tube pour introduire ou laisser échapper l'air. L'agitateur se compose de l'arbre *k*, des bras *m, m*, qui y sont fixés, et des ailettes *h, h*, supportées par ce dernier. L'arbre et les bras sont en fer doux, les ailettes en fonte. L'agitateur est actionné à l'aide de la poulie *i* et d'une courroie sans fin.

β. — Dispositifs de lixiviation.

Comme les vases de dissolution, ces dispositifs présentent les formes les plus variées et ils doivent également être faits d'une matière qui résiste au dissolvant, ainsi qu'au produit de la dissolution.

On distingue les dispositifs dans lesquels les masses à

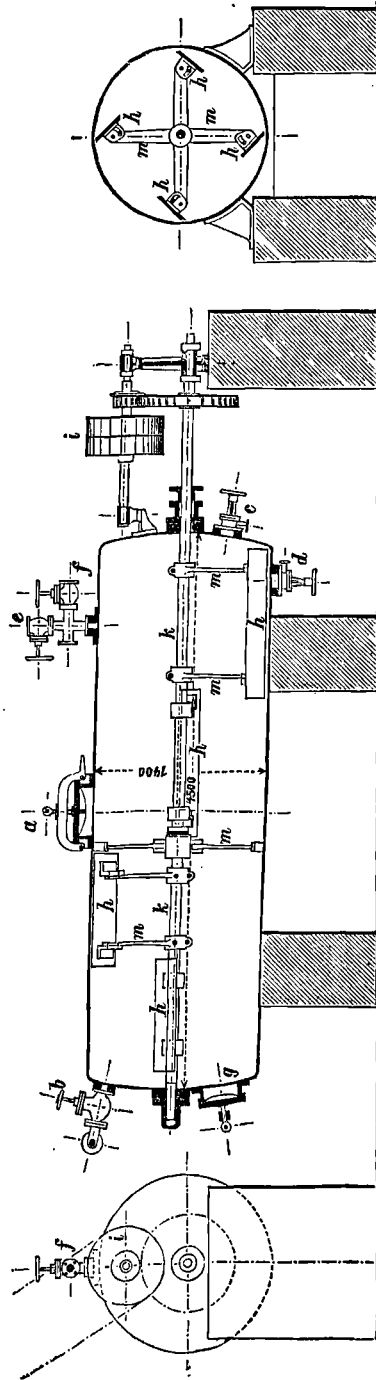


Fig. 682.

Fig. 681.

Fig. 680.

Fig. 680, 681 et 682. — Appareil pour la dissolution de l'oxyde de zinc au moyen du carbonate d'ammonium.

traiter par le dissolvant sont *immobiles* pendant la dissolution et ceux dans lesquels ces masses sont en *mouvement* pendant la dissolution.

*Dispositifs de lixiviation avec la masse immobile.*

Ces dispositifs sont des cuves ou des caisses faites en bois, en maçonnerie, en ciment ou en fer. Dans beaucoup de cas, ces cuves ou caisses possèdent un double fond. Le fond supérieur, dit fond mobile, sur lequel reposent les masses à traiter, est perforé ou disposé comme une grille, afin de laisser passer les lessives. On fait passer le liquide dissolvant à travers les masses immobiles.

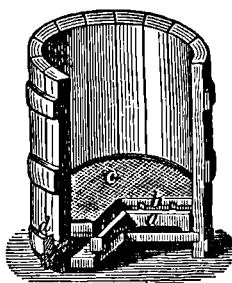


Fig. 683. — Cuve pour la dissolution par lixiviation du sulfate ou du chlorure d'argent.

Lorsque c'est possible, on procède à la lixiviation d'après le principe qui consiste à mettre en contact le dissolvant frais avec la masse épuisée et le dissolvant presque saturé avec la masse fraîche. On obtient de cette façon d'une part une solution saturée, d'autre part une masse dépouillée du métal à dissoudre.

On cherchait autrefois à atteindre ce but en faisant passer la masse à lessiver par une série de caisses, qui étaient remplies des liquides dissolvants à des degrés de saturation les plus différents, jusqu'à ce que, à peu près épuisée, elle arrivât dans la dernière caisse avec du dissolvant pur.

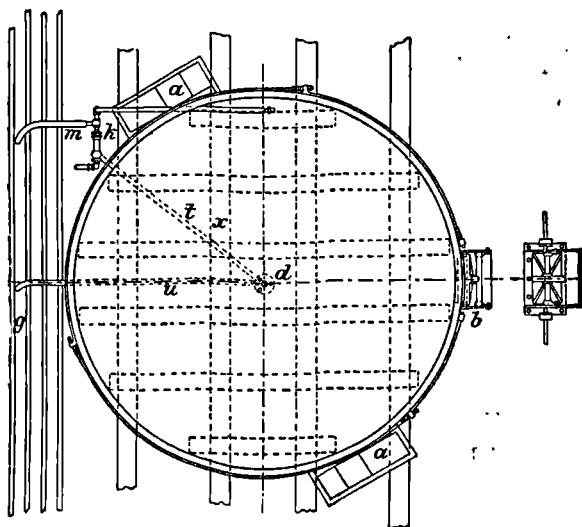


Fig. 684. — Nouvelle cuve pour la dissolution par lixiviation du chlorure d'argent; coupe horizontale.

Maintenant on ne fait circuler que les liquides dissolvants, tandis que la masse reste dans la même cuve ou caisse de lixiviation, jusqu'à son

complet épuisement. Mais ici on ne peut pas employer le procédé de BUFF-DUNLOP, tel qu'il est appliqué à la lixiviation de la soude brute, procédé dans lequel on donne aux colonnes liquides des différentes caisses des hauteurs différentes et on fait passer d'une caisse dans l'autre, au

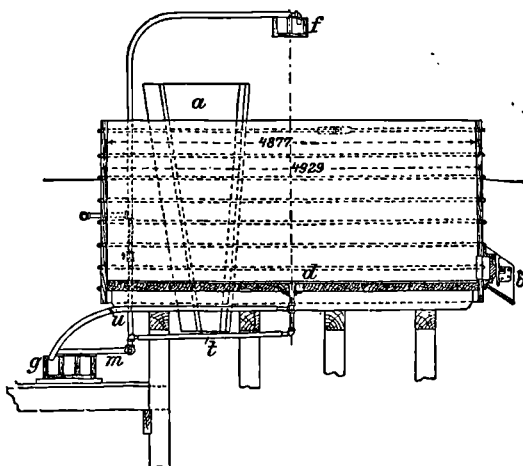


Fig. 685. — Nouvelle cuve pour la dissolution par lixiviation du chlorure d'argent coupe verticale.

moyen d'une colonne liquide plus haute et de densité moindre, une colonne liquide moins haute et de plus grande densité. On opère donc comme il suit : des vases à lixiviation, on fait écouler le liquide dans des réservoirs, on le monte ensuite à l'aide de pompes, de roues à augets, d'injecteurs ou de monte-jus, dans des vases à lixiviation fraîchement chargés et on continue ainsi jusqu'à saturation du liquide.

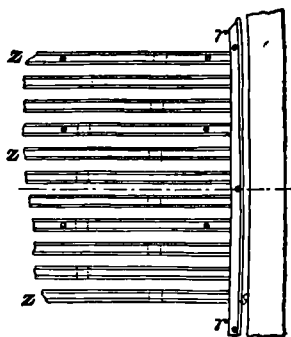


Fig. 686. — Nouvelle cuve pour la dissolution par lixiviation du chlorure d'argent; coupe horizontale du fond filtrant.

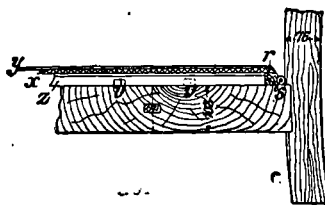


Fig. 687. — Nouvelle cuve pour la dissolution par lixiviation du chlorure d'argent; coupe verticale du fond filtrant.

Si, comme cela avait lieu autrefois à Stadtherge et à Linz, on veut faire passer des gaz nitreux, de l'air, de l'acide sulfureux et de la vapeur d'eau à travers un fond mobile, sur lequel reposent des minerais oxydés, on

construit ce fond en *pierres réfractaires*, reposant elles-mêmes sur des *briques placées de champ*.

Lorsqu'on emploie comme dissolvant de l'acide chlorhydrique, les *caisses* ou les *cuves* sont en bois et on les garnit intérieurement d'une couche d'*argile pilonnée*. Dans les cas où l'on se sert de solutions bouillantes de perchlorure de fer, les vases à lixiviation doivent être en grès.

Le fond mobile est formé d'une grille en bois ou de planches munies de trous.

Pour la lixiviation des minerais de cuivre qui ont été soumis à un grillage chlorurant, on emploie des *caisses en bois* avec grille en bois ou un *fond mobile*, fait de *planches perforées*.

La figure 683 représente une *cuve pour la dissolution par lixiviation du sulfate d'argent* ou du *chlorure d'argent*. Le fond mobile *b* repose sur la croix en bois *a*. Il est fait de planches perforées. Sur ce fond, se trouve une couche de menus branchages et par-dessus celle-ci un filtre en toile. Ce dernier est maintenu par un cercle, qui s'applique exactement contre les parois de la cuve. Sur le filtre, on déverse la masse à lessiver. Le liquide qui traverse celle-ci s'écoule par l'ouverture *d*.

Les figures 684 à 687 représentent une *nouvelle cuve pour la dissolution, par lixiviation au moyen de l'hyposulfite de sodium, du chlorure d'argent de minerais d'argent, préalablement soumis au grillage chlorurant*. Cette cuve contient 50 tonnes de minerai grillé, elle est entourée de cercles en fer ronds. Le fond filtrant consiste en une natte *x*, sur laquelle se trouve le filtre proprement dit *y*, en toile à voile. Ce fond repose sur des lattes séparées l'une de l'autre par un espace de 25 millimètres environ. et fixées au fond de la cuve à l'aide de vis recouvertes de blanc de plomb. Afin que le liquide puisse circuler sur le fond de la cuve, les lattes sont munies sur leur face inférieure d'entailles *v*, *v*. Les lattes ne vont pas jusqu'à la paroi de la cuve, mais laissent un intervalle libre, dans lequel est placé un cercle *r*, formé de plusieurs lattes. Afin de boucher le joint entre la paroi de la cuve et le cercle *r*, on met autour de ce dernier une grosse corde de chanvre *s*, que l'on tasse fortement. La natte ne couvre que les lattes et le cercle, tandis que la toile filtrante a un diamètre plus grand que celui de la cuve. La partie de la toile qui dépasse le cercle est appliquée fortement sur le fond et la paroi latérale de la cuve au moyen de la corde de chanvre.

Le minerai à lessiver est apporté par des wagonnets roulant sur des rails établis au-dessus de la cuve et il est ensuite déversé dans celle-ci. Le liquide dissolvant peut s'écouler dans la cuve de rigoles ou de tubes établis au-dessus de celle-ci ou y être monté au moyen de tuyaux en caoutchouc. L'évacuation des lessives a lieu par un tube en fer *d*, adapté au milieu du fond de la cuve. A ce tube sont reliés des tuyaux en caoutchouc *u* et *t*, dont l'un doit toujours être fermé pendant l'écoulement de la lessive. Par le tuyau *u*, la lessive se rend dans la rigole *g*. Le tuyau *t* est en communication avec un injecteur de KÖRTING, par lequel un vide partiel peut être produit au-dessous du fond filtrant, de façon à activer la filtration. A l'aide de l'injecteur, le liquide peut être dirigé par le tuyau *m*, avec lequel il communique, dans la rigole *g*, ou bien, en fermant *m*, dans la rigole *f*, qui se trouve au-dessus de la cuve et de laquelle il peut être de

nouveau déversé dans celle-ci. Pour retirer de la cuve les résidus lessivés, on les enlève à l'aide de pelles et on les fait tomber, par les canaux *a, a*, dans des wagonnets amenés au-dessous de ces derniers, ou on les

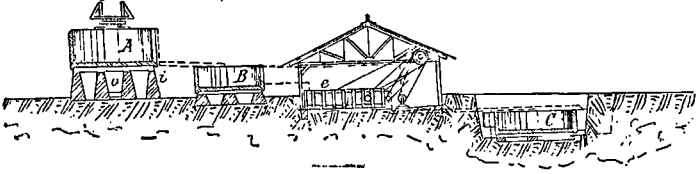


Fig. 688. — Disposition générale d'une usine pour le traitement des minerais aurifères par lixiviation au moyen du cyanure de potassium; coupe verticale.

extrait par une ouverture qui se trouve immédiatement au-dessus du filtre, ou bien encore on les pousse avec de l'eau dans la petite ouverture *b*.

Les vases, qui sont employés au *Transvaal* pour la *dissolution*, par

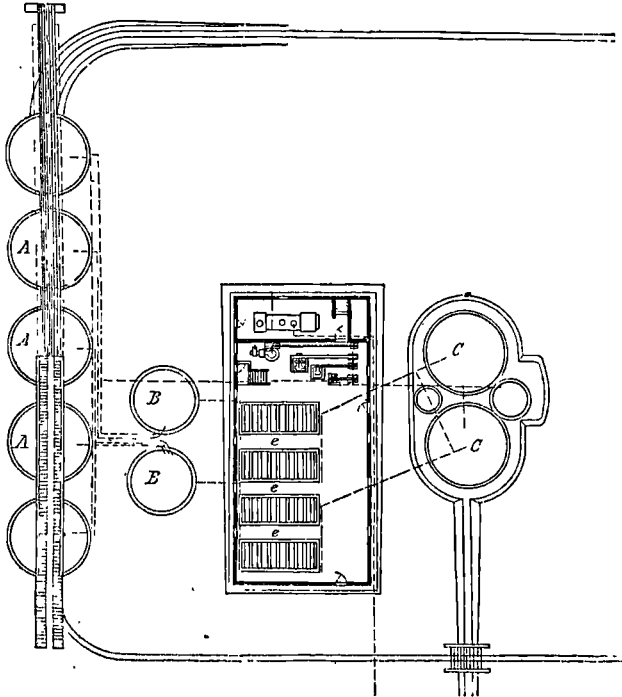


Fig. 689. — Disposition générale d'une usine pour le traitement de minerais aurifères par lixiviation au moyen du cyanure de potassium; plan.

*lixiviation au moyen de solutions diluées de cyanure de potassium, de l'or des minerais aurifères, sont des cuves en bois, en tôle d'acier ou en maçonnerie. Ces cuves sont munies de dispositifs de filtration. Ces dispositifs consistent en un double fond à claire-voie, sur lequel est étendu*

un filtre formé d'une natte grossière en fibres de coco, sur laquelle se trouve un deuxième filtre fait d'un tissu de jute plus fin. Le diamètre des cuves en bois et en tôle d'acier s'élève à 8-10 mètres et leur hauteur est égale au quart de leur diamètre. Ces cuves contiennent ordinairement 200-300 tonnes de masses à traiter. Elles sont généralement établies sur des piliers en maçonnerie. Les lessives sont évacuées par le fond des cuves, au moyen de tuyaux en fonte munis de soupapes. Les masses

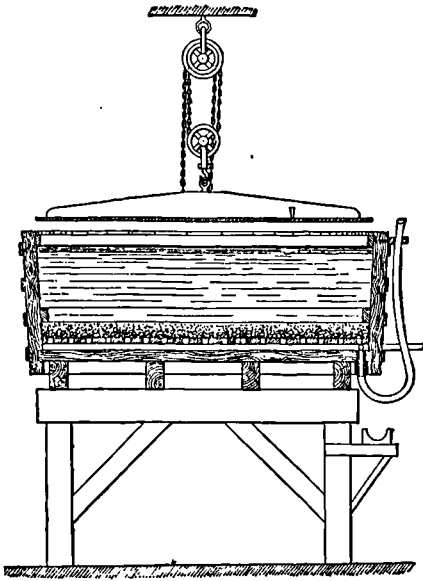


Fig. 690. — Cuve fixe pour la chloruration des minerais d'or et la dissolution par lixiviation du chlorure d'or formé.

lessivées sont éliminées par des ouvertures munies de portes, établies dans le fond des cuves.

La disposition d'une installation pour la lixiviation des minerais jusqu'à épuisement de leur teneur en or est mise en évidence par les figures 688 et 689, dans lesquelles sont aussi représentés les dispositifs

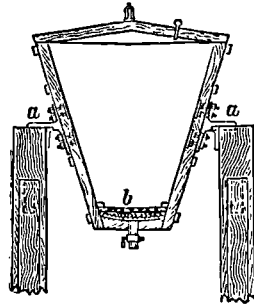


Fig. 691. — Cuve mobile sur tourillons pour la chloruration des minerais d'or et la dissolution par lixiviation du chlorure d'or formé.

pour la précipitation (par électrolyse) de l'or contenu dans les lessives. A, A sont les cuves de lixiviation reposant sur des piliers en pierre. B, B sont les cuves collectrices des lessives aurifères. De ces cuves, on laisse couler celles-ci dans les caisses de précipitation *e, e*, où a lieu la séparation de l'or au moyen du courant électrique. Des caisses de précipitation, la lessive désaurifiée se rend dans les cuves C, C et de celles-ci elle est retournée à l'aide de pompes dans les cuves de lixiviation.

Les vases pour la dissolution par lixiviation du chlorure d'or, auquel on a donné naissance en faisant passer un courant de gaz de chlore à travers les masses aurifères contenues dans ces vases, sont généralement des cuves en bois, qui sont fixes ou suspendues sur des tourillons. Elles reçoivent extérieurement et intérieurement un triple enduit de goudron, de vernis d'asphalte ou de paraffine. On n'emploie des vases en grès que lorsqu'on n'a à traiter que de petites quantités de minerais. Les cuves fixes sont cylindriques et contiennent de 2 à 5 tonnes de minerai. Elles possèdent à une certaine distance au-dessus du fond proprement dit un deuxième fond



en bois perforé, sur lequel se trouve une couche de quartz en morceaux, dont la grosseur va en diminuant de bas en haut. La couche de quartz est recouverte d'une couche de sable fin, sur laquelle on place un filtre en toile à voile. La disposition d'une pareille cuve est mise en évidence par la figure 690. Le chlore est introduit par le tube horizontal qui se trouve sur le fond de la chaudière. La lessive est évacuée au moyen d'un tuyau adapté dans le fond de la cuve.

La figure 691 représente la disposition d'une cuve suspendue sur des

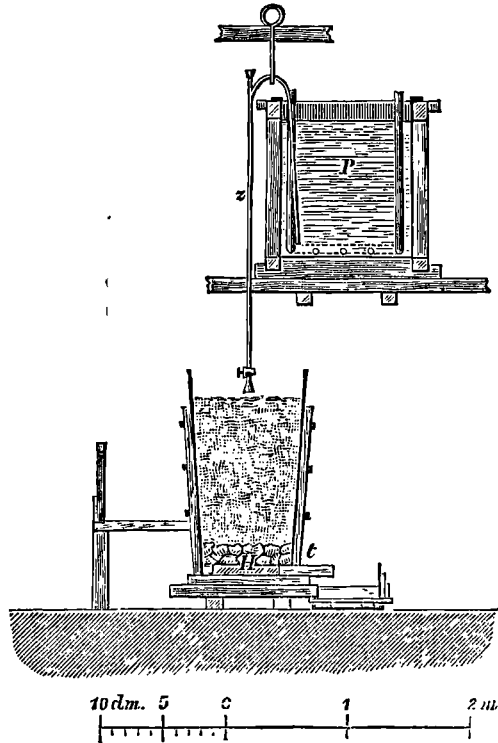


Fig. 692. — Cuve pour la dissolution par lixiviation du cuivre argentifère au moyen de l'acide sulfurique.

tourillons. *b* est le fond mobile, formé d'une plaque de grès perforée. L'espace entre ce fond et le fond proprement dit est rempli de morceaux de quartz. Le chlore est introduit par un tube traversant le fond du vase. La lessive est évacuée par la même ouverture.

Les vases de lixiviation pour la dissolution du cuivre argentifère au moyen d'acide sulfurique dilué, tels qu'ils sont employés à Oker et à Altenau (fig. 692), consistent en des cuves en bois, qui sont revêtues de plomb intérieurement. Sur le fond de la cuve se trouvent des traverses en bois H, sur lesquelles sont placés de gros morceaux de cuivre. Sur ces derniers, on dépose les grenailles de cuivre, dont le cuivre doit être dissous. La lessive coule par l'ouverture *t* ménagée au fond du vase. Le liquide

dissolvant (acide sulfurique) est déversé du réservoir P dans la cuve de lixiviation par un siphon z, muni à son extrémité inférieure d'une pomme d'arrosoir.

*Dispositifs de lixiviation dans lesquels les masses sont en mouvement.*

On emploie ces dispositifs aussi bien pour obtenir une dissolution plus rapide, que pour empêcher l'agglomération des masses pendant la dissolution.

De pareils dispositifs sont des caisses ou des cuves dans lesquelles les masses sont brassées par la main de l'homme, ou des cylindres verticaux ou horizontaux immobiles qui sont munis d'agitateurs, ou bien enfin des cylindres horizontaux rotatifs sans agitateurs.

On emploie des cylindres en fer munis d'une couronne dentée pour séparer par lixiviation le sulfate de zinc de minerais de plomb blendeux grillés.

b. — Dispositifs de filtration.

Ces dispositifs ont pour but de séparer des corps solides d'avec des liquides au moyen de filtres.

Dans un grand nombre de cas, les filtres sont disposés dans les vases de dissolution ou de précipitation. Ils se composent de menus bran-

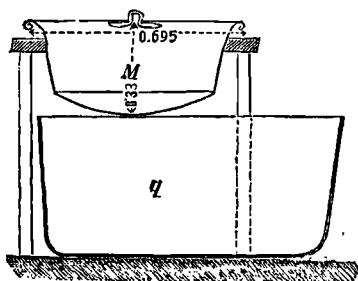


Fig. 693. — Filtre sans pression.

chages, de paille, de crins, de toiles, de morceaux de quartz ou de grains de plomb. Ces corps sont placés soit sur le fond mobile des vases de lixiviation ou de précipitation, soit devant les ouvertures d'écoulement.

Dans d'autres cas, on emploie des dispositifs indépendants des autres appareils et dans lesquels sont introduites les masses à séparer. Dans ces dispositifs, la filtration a lieu avec ou sans l'aide d'une pression artificielle.

Dans le second cas, on emploie des

vascs en forme d'entonnoir ou de chaudières garnis d'une matière filtrante, dans le premier on a recours aux appareils désignés sous le nom de *filtres-presses*.

Un dispositif de filtration sans pression est représenté par la figure 693. Il est employé dans l'affinage par l'acide sulfurique, pour la séparation de l'argent précipité par le fer de la solution de sulfate d'argent et de la solution de sulfate ferreux. Il consiste en une chaudière en cuivre M avec fond perforé, dans laquelle se trouve une toile filtrante.

Les *filtres-presses* se composent d'un système de chambres mobiles, dont les grandes parois sont perforées et recouvertes chacune d'une toile de chanvre ou de laine. Ces parois présentent du côté de leur face extérieure une légère concavité qui, lors du rapprochement des boîtes, produit un espace vide formant avec les toiles une poche filtrante. Les bords des

toiles sont pressés sur les cadres des chambres assez fortement pour qu'aucun liquide ne puisse les traverser. Chaque chambre est traversée par un tube, de façon que, lors du rapprochement des chambres, il se produise un long tuyau, qui n'est interrompu que par les poches filtrantes. Les différentes chambres sont serrées fortement les unes contre les autres au moyen de vis. Les masses à séparer sont ensuite introduites dans le tuyau dont il vient d'être question, au moyen de pompes, de la pression de la vapeur ou de la pression de l'air (monte-jus). Les masses

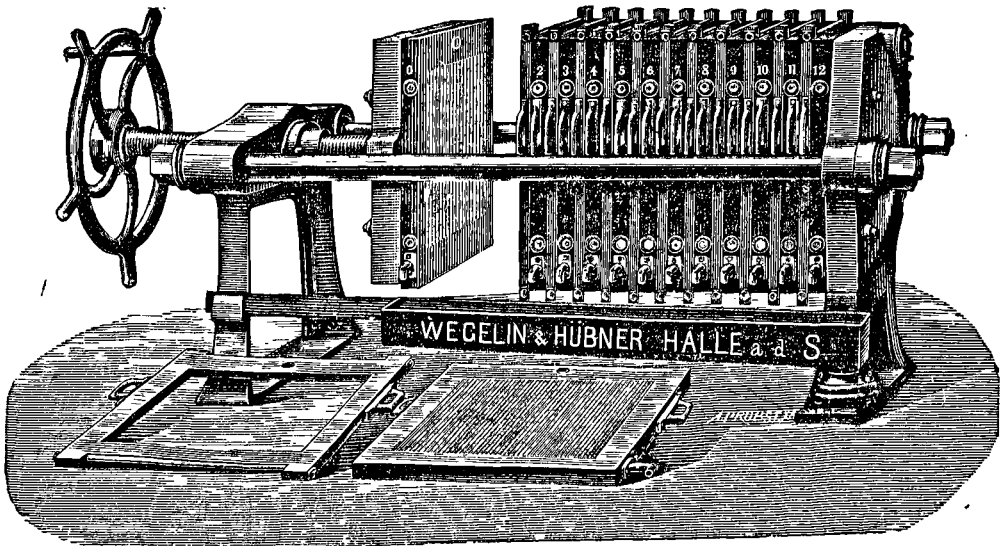


Fig. 694. — Filtre-pressé ordinaire.

solides restent entre les toiles filtrantes, tandis que les liquides traversent celles-ci et passent dans les chambres par leurs parois latérales perforées, pour s'écouler ensuite au dehors par des ouvertures avec ou sans tubulures, qui se trouvent à la partie inférieure des chambres. Pour éliminer les masses solides qui restent dans les poches filtrantes, il suffit d'écartier les chambres les unes des autres.

Les filtres-pressés peuvent être construits en bois ou en fer.

La disposition d'un filtre-pressé pour la séparation de corps solides d'avec des liquides *non* volatils est mise en évidence par la figure 694. Il se compose de treize chambres supportées de chaque côté par des saillants reposant sur des tiges latérales, sur lesquelles les chambres sont mobiles. Au moyen d'une vis reliée à la chambre 0, les différentes chambres sont pressées les unes contre les autres, et les poches filtrantes sont ainsi formées entre les différentes chambres par les toiles tendues sur leurs faces extérieures. Les masses à séparer sont introduites dans les poches filtrantes par un tuyau formé par la réunion des tubulures traversant les chambres dans leur partie supérieure. Par les pores des poches filtrantes et les trous des parois latérales des chambres, le

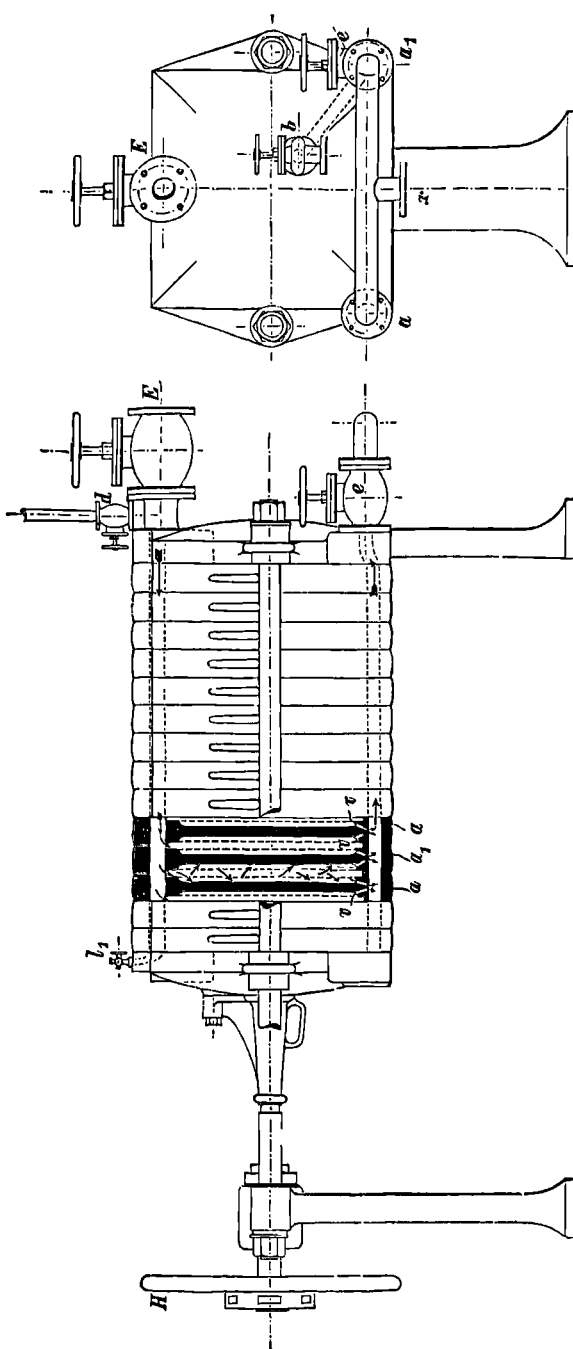


Fig. 695 et 696. — Filtre-pressé pour la séparation de corps solides d'avec des liquides volatils; vues extérieures et coupe verticale partielle.

liquide pénètre dans ces dernières, tandis que les masses solides restent

dans les poches. Des chambres, le liquide s'écoule par des robinets dans la gouttière qui se trouve devant ceux-ci. En écartant les chambres les unes des autres, on fait tomber les masses restées entre les toiles filtrantes.

Un filtre-press servant pour la séparation de *liquides volatils* de corps solides, à l'abri du contact de l'air, est représenté par les figures 695 à 698. Il est employé pour séparer une solution de zinc dans le carbonate

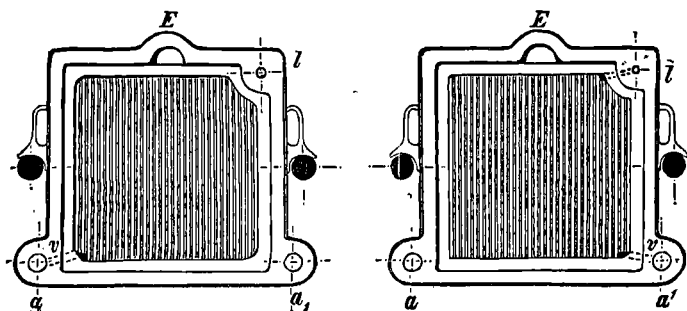


Fig. 697 et 698. — Disposition des chambres du filtre-press pour liquides volatils.

d'ammonium d'avec de l'oxyde de plomb argentifère. Par le tube E, dont le prolongement est formé par des ouvertures dans la partie supérieure des différentes chambres, les masses à séparer sont, au moyen d'un monte-jus, refoulées dans la direction des flèches et elles passent ensuite dans les poches filtrantes indiquées par des lignes ponctuées. Suivant la direction indiquée par les flèches, le liquide traverse les pores des poches filtrantes et les trous dont sont munies les parois latérales des chambres, arrive dans les canaux *v* et de ceux-ci dans les tuyaux *a* ou *a'* formés par les différentes chambres et qui se réunissent au dehors de la presse à la conduite commune *x*. Celle-ci amène le liquide dans un réservoir en fer clos. Afin que le liquide puisse s'écouler partie dans le tuyau *a*, partie dans le tuyau *a'*, les chambres communiquent alternativement par les canaux *v* avec *a* et *a'*.

Les filtres-presses sont employés surtout pour la séparation du sulfure d'argent, de l'iodure d'argent, du carbonate de zinc basique et de l'oxyde de plomb d'avec les liquides dans lesquels il se trouvent.

#### c. — Dispositifs de clarification.

Comme dispositifs de clarification, on emploie des vases d'espèces extrêmement variées, surtout des gouttières, des caisses, des chaudières, des cuves. Ces vases doivent être faits d'une matière qui ne soit pas attaquée par les liquides que les vases doivent recevoir et par les dépôts qui doivent s'y former.

#### d. — Dispositifs de concentration.

Les dispositifs pour la concentration de liquides sont des chaudières faites d'une matière qui doit résister aux liquides, ainsi qu'à la chaleur.

Le chauffage des liquides a lieu à feu direct ou par la vapeur circulant dans un serpentín placé dans les vases.

e. — Dispositifs de précipitation,

Ces appareils possèdent des dispositions extrêmement variées et ils sont faits d'une matière qui doit pouvoir résister aux liquides, ainsi qu'aux corps solides et aux gaz avec lesquels elle est mise en contact.

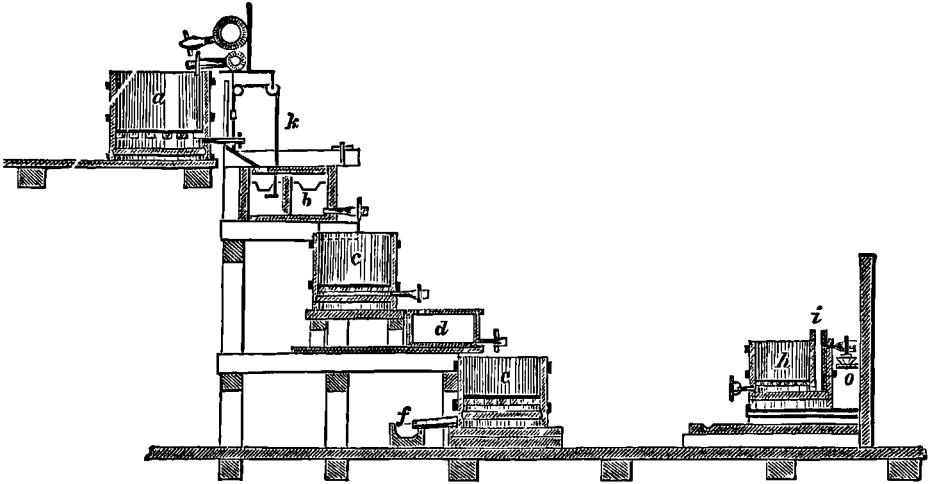


Fig. 699. — Appareil pour la précipitation de l'argent du sulfate d'argent au moyen du cuivre.

Pour précipiter de *petites quantités de métaux précieux* (or, platine) par des liquides, on se sert de vases en verre ou en porcelaine. Pour précipiter du sulfure d'argent de la solution de ce métal dans un hyposulfite au moyen de solutions de sulfures alcalins ou alcalino-terreux, on emploie des cuves en bois. Pour la précipitation du bismuth par dilution avec de l'eau de sa solution chlorhydrique, on se sert de pots en grès.

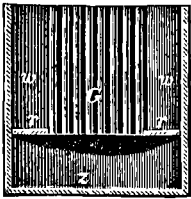


Fig. 700. — Appareil pour la précipitation du cuivre au moyen du fer.

Si de *grandes quantités* de métaux précieux doivent être précipitées par des corps *solides*, on se sert comme appareil de précipitation de caisses en plomb ou de cuves en bois, dans lesquelles le précipitant est déposé sur un fond mobile, pendant que le liquide traverse ces vases. On établit ordinairement plusieurs de ces dispositifs les uns au-dessus des autres, comme lors de la précipitation de l'argent par le fer de solutions de chlorure d'argent dans le chlorure de sodium ou de solutions de sulfate d'argent.

La figure 699 représente un pareil dispositif, qui est employé pour la précipitation de l'argent de solutions de sulfate d'argent. *a* est le vase à

lixiviation; *c* et *e* sont les cuves de précipitation. Le cuivre servant à précipiter l'argent est placé sur le fond mobile des vases à précipitation. Du premier de ces vases, la lessive coule dans la rigole *d* et de celle-ci dans le vase à précipitation *e* qui se trouve au-dessous, pour passer ensuite exempte d'argent dans la rigole *f*.

Pour précipiter le cuivre par le fer, on emploie des gouttières, des caisses, des cuves et des chaudières. Un dispositif de précipitation avec agitateur est représenté par la figure 700. Dans un cylindre en bois, rendu étanche au moyen d'un enduit d'argile, se trouve une grille G de forme cylindrique et faite de barreaux en bois. Dans l'espace annulaire *w*, qui se trouve entre le cylindre et la grille, est disposée une grille en bois horizontale *r*, sur laquelle est placé le fer qui doit précipiter le cuivre. Dans la grille cylindrique, se meut un arbre vertical, auquel est adaptée une ailette agitatrice. Celle-ci dirige la solution cuprifère sur le fer. Le cuivre précipité de cette dernière et adhérent au fer est entraîné par de nouvelles solutions et se rassemble sur le fond *z* de l'appareil.

Pour précipiter des corps de liquides volatils, on emploie des vases clos avec agitateurs. Les figures 701 et 702 représentent un vase de ce genre, dans lequel du cuivre est précipité de solutions ammoniacales cuprifères au moyen de zinc. Il consiste en une chaudière cylindrique A, en fer doux; *e* est l'ouverture, par laquelle le liquide *y* est introduit;

*a* est l'ouverture, munie d'un joint en caoutchouc, pour l'introduction du zinc; *h, h* sont les ailettes agitatrices, fixées à l'arbre horizontal *w*. Le cuivre précipité se rassemble au fond du vase et il en est retiré par le trou d'homme *g*. Le liquide exempt de cuivre est évacué par *c* et le reste de ce dernier par le tuyau *z*. Par *f*, on introduit l'eau de lavage dans le vase.

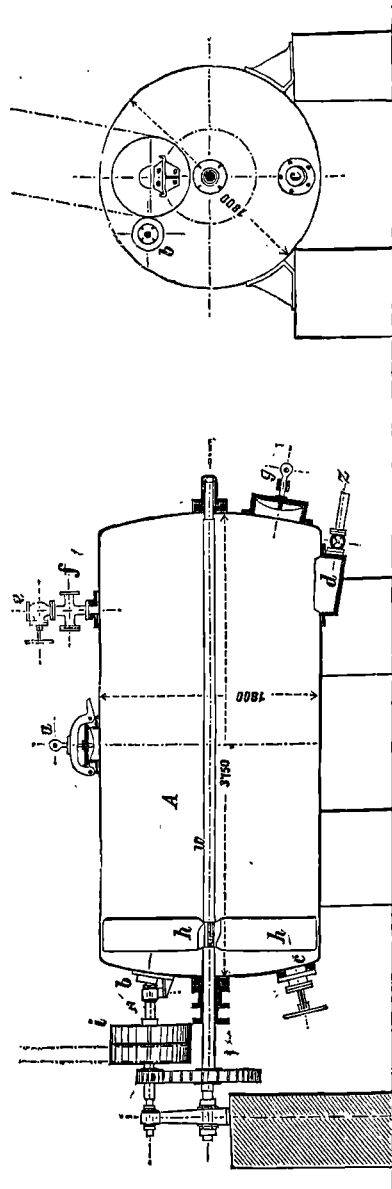


Fig. 701 et 702. — Appareil pour la précipitation par le zinc du cuivre en solution ammoniacale.

Si on se sert de *gaz* comme précipitants, les dispositifs de précipitation sont des vases, dans lesquels les gaz sont introduits sous pression, ou des *tours*, dans lesquelles les gaz montent, tandis que le liquide y tombe sous forme de pluie.

Un dispositif de cette espèce, comme celui qui est employé pour la

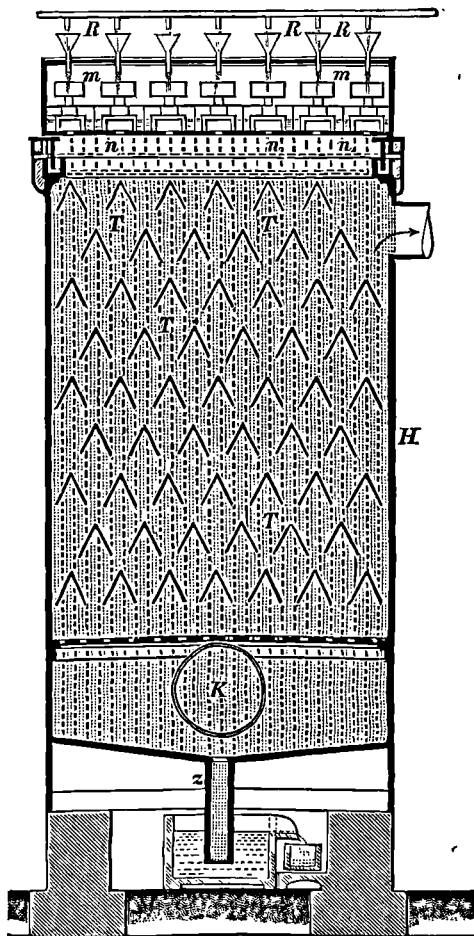


Fig. 703. — Tour pour la précipitation du cuivre ou de l'arsenic par l'hydrogène sulfuré.

précipitation du cuivre par l'hydrogène sulfuré ou celle de l'arsenic contenu dans l'acide sulfurique également par l'hydrogène sulfuré, est représenté par la figure 703.

H est une tour faite de lames de plomb épaisses et munies intérieurement d'un système de toits en plomb T. L'hydrogène sulfuré pénètre par un tube K dans la partie inférieure de la tour, dans laquelle il monte, pendant que le liquide, aussi divisé que possible par les dispositifs *m* et *n*,



coule sur les toits en plomb et se rassemble avec le précipité sur le fond de la tour, d'où il est évacué par le tuyau *z*.

La précipitation de corps par *volatilisation du dissolvant* est appliquée

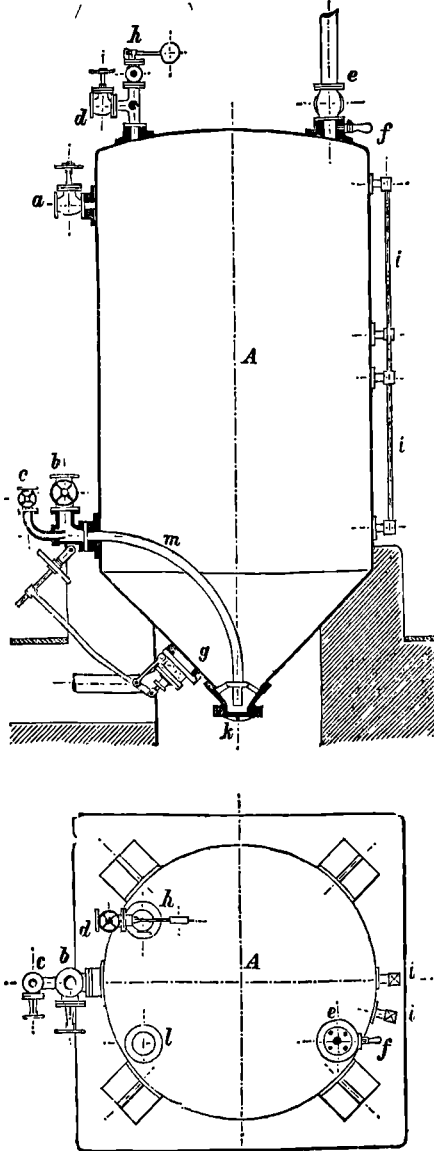


Fig. 704 et 705. — Appareil pour la précipitation par volatilisation du dissolvant, avec récupération de ce dernier.

dans le cas de solutions ammoniacales de cuivre ou de zinc. Le dissolvant volatil est alors recueilli. La manière d'opérer la plus simple consiste à

faire passer dans le liquide de la vapeur d'eau en tension. Un dispositif pour la précipitation de carbonate de zinc basique d'une solution d'oxyde de zinc dans la carbonate d'ammonium est représenté par les figures 704 et 705.

Ce dispositif consiste en un vase cylindrique en fer doux A, se terminant inférieurement par un cône. La solution de zinc est introduite dans le vase par *a*. Par la soupape *c*, de la vapeur d'échappement de machines est introduite au moyen du tube *m* descendant jusqu'au fond du vase. Cette vapeur porte le liquide à l'ébullition. De ce dernier, il se dégage par le tube *e* de l'ammoniaque, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, qui se rendent dans un condensateur, tandis qu'il s'en précipite du carbonate basique de zinc. Après l'expulsion de l'ammoniaque, il reste dans le vase de l'eau et le précipité dont il vient d'être question. On évacue les deux corps par le tube *g*, en fermant le tube *e*, ouvrant *g* et faisant encore passer à travers le liquide de la vapeur d'eau par le tube *m*. Cette dernière ne pouvant pas se dégager, refoule la masse en dehors du vase par le tube *g*.

#### *f.* — Dispositifs de dessiccation.

Comme dispositifs pour la dessiccation de corps solides traités par des liquides, on se sert de fours à réverbère ou de fours à vases, de chaudières, de claies, ou de vases, dans lesquels les corps à dessécher sont mis en contact avec de la vapeur d'eau en tension ou surchauffée. On emploie des dispositifs de la dernière espèce lors de l'expulsion de corps volatils (l'ammoniaque, par exemple), qui adhèrent aux corps solides et que l'on veut recueillir. Avec certains précipités (or, argent), on fait souvent précéder la dessiccation d'une élimination partielle du liquide par expression de celui-ci au moyen de presses hydrauliques.

#### *g.* — Dispositifs de cristallisation.

Les dispositifs de cristallisation sont des caisses ou des auges de différentes grandeurs.

Ces vases sont ordinairement en bois, qui dans beaucoup de cas est revêtu de plomb laminé.

Souvent, on suspend dans les caisses à cristallisation des baguettes de bois ou des bandes de plomb, sur lesquelles les cristaux se déposent.

#### *h.* — Dispositifs de distillation.

On emploie des dispositifs de distillation, lorsque des dissolvants volatils doivent être éliminés de liquides, par exemple, l'ammoniaque de solutions ammoniacales de zinc ou de cuivre.

La distillation marche plus rapidement lorsqu'on fait passer dans les solutions un courant de vapeur d'eau en tension. Dans ce cas, le dispositif représente un cylindre en fer doux rétréci par en bas en forme de cône.

Un pareil dispositif, qui sert en même temps d'appareil de précipitation, a déjà été décrit précédemment et est représenté par les figures 704

et 705. Le tube *e* de cet appareil conduit l'ammoniaque, l'acide carbonique et une partie de la vapeur d'eau dans une série de condensateurs contenant de l'eau, qui absorbe l'ammoniaque et l'acide carbonique. Une partie de la vapeur, dans son trajet vers les condensateurs, est retenue dans un vase maintenu à une certaine température au moyen d'eau froide (déphlegmateur).

Un condensateur est représenté par les figures 706 à 708. Il consiste en un cylindre en fer doux *v*. L'ammoniaque, l'acide carbonique et la vapeur d'eau non encore condensée pénètrent par le tube *b* dans le vase en partie rempli d'eau, les gaz non absorbés se rendent par le tube *f* (fig. 707) dans un deuxième condensateur. De l'acide carbonique est introduit par le tube *c*, afin de transformer l'ammoniaque en excès en carbonate d'ammonium. Les liquides sont évacués par *e*; *g* est un indicateur de niveau, *a* un trou d'homme.

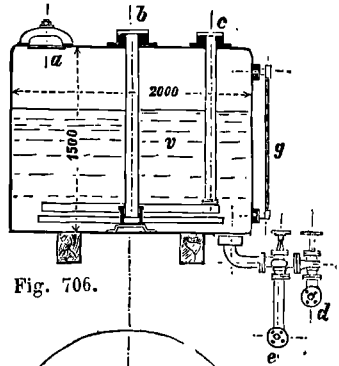


Fig. 706.

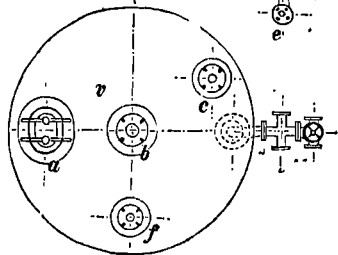


Fig. 707.

Fig. 706. — Condensateur; coupe verticale.

Fig. 707. — Condensateur; vue de la partie supérieure.

#### B. — Dispositifs pour les procédés par amalgamation.

Les dispositifs employés pour l'amalgamation de l'argent et de l'or sont les appareils à amalgamer proprement dits, dans lesquels l'or et l'argent sont transformés en amalgames, les appareils de lavage, à l'aide desquels sont récupérés les particules de mercure et d'amalgame restées dans les résidus de l'amalgamation, et les dispositifs pour la séparation de l'amalgame d'avec le mercure en excès.

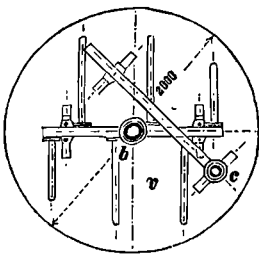


Fig. 708. — Condensateur; coupe au-dessus du fond.

#### a. — Appareils d'amalgamation proprement dits.

Ce sont des dispositifs d'espèces extrêmement variées, surtout : des écuelles, des auges, des mortiers, des tables, des plaques de cuivre amalgamées, des gouttières, des bocards, des moulins, des cuves verticales avec agitateurs, des chaudières, des tonneaux rotatifs. Ces dispositifs sont décrits avec les détails nécessaires à propos de l'extraction de l'or et de l'argent par amalgamation<sup>1</sup>. C'est pour cela que nous ne décrivons ici

<sup>1</sup> Voy. C. SCHNABEL, *Traité de métallurgie*, édit. française, par L. GAUTIER, t. I, p. 768 et 715.

que quelques types de ces appareils, c'est-à-dire les tonneaux, les moulins et les chaudières, ainsi qu'un dispositif de bocardage.

La disposition des *tonneaux d'amalgamation rotatifs* est mise en évidence par la figure 709. Le vase où a lieu l'amalgamation consiste en un tonneau en bois, dont chacun des fonds est muni d'un disque en fer avec tourillon venu de fonte. Ces tourillons reposent dans des coussinets particuliers, de façon que l'on puisse communiquer au vase un mouvement rotatif. La rotation est produite au moyen d'une roue dentée s'engrenant avec une couronne également dentée entourant le tonneau. Le remplissage et la vidange de ce dernier ont lieu par une bonde *d*, qui pendant la rotation est maintenue fermée au moyen d'étriers et de vis.

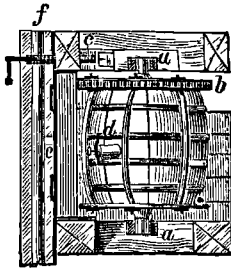


Fig. 709. — Tonneau d'amalgamation.

Les figures 710 et 711 représentent une installation de quatre tonneaux d'amalgamation. *q, q* sont les tonneaux, qui sont mis en rotation par les roues dentées *k, k; v, v* sont les trémies de chargement, dont la partie inférieure est munie de tuyaux en cuir *r, r*, par lesquels les corps à amalgamer sont introduits dans les tonneaux; *o* est une rigole pour l'introduction du mercure; *n, n* sont des rigoles, dans lesquelles l'amalgame

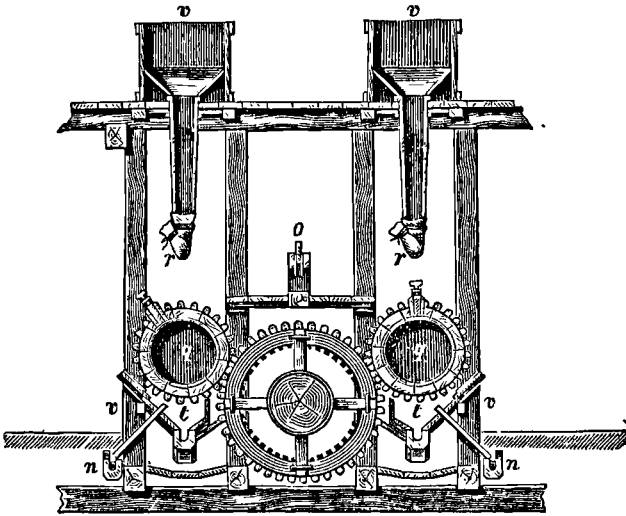


Fig. 710. — Installation de quatre tonneaux d'amalgamation; coupe verticale suivant MN (fig. 711).

est écoulé; *t, t* sont d'autres rigoles pour recevoir les résidus de l'amalgamation. Dans ces tonneaux, on traite des minerais et des produits métallurgiques, dont ordinairement l'argent a été préalablement transformé en chlorure. Le chlorure d'argent est décomposé dans ces tonneaux au

moyen de fer ou de morceaux de cuivre, après quoi est effectuée au moyen de mercure l'amalgamation de l'argent séparé.

Des *cuves verticales d'amalgamation avec agitateurs*, dites *tinias*, sont représentées par les figures 712 et 713. Les parois latérales sont en bois,

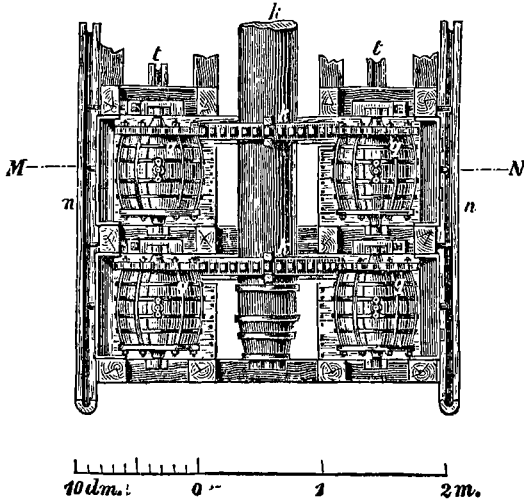


Fig. 711. — Installation de quatre tonneaux d'amalgamation; projection horizontale.

le fond est en fonte. Sur l'axe vertical *m* sont fixées deux ailettes agitratrices en fer doux, qui dans leur mouvement de rotation rasant le fond de la cuve et mettent le minerai en contact intime avec le mercure. Le mou-

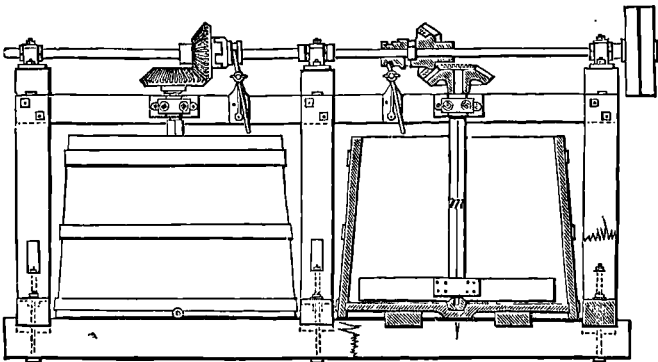


Fig. 712. — Cuves d'amalgamation ou tinias; vue extérieure et coupe verticale.

vement de l'agitateur est produit par des roues coniques. L'arbre moteur est muni d'un dispositif de désengrenage, afin de permettre d'arrêter l'agitateur.

La disposition d'un *moulin* pour l'amalgamation de l'or est mise en évidence par la figure 714. Il se compose d'une cuve en fonte et d'un cour-

sier *c* en bois, évidé intérieurement suivant la forme d'un cône. Le coursier est suspendu dans la cuve à des bras en fer *r, r*, de façon qu'il puisse tourner; sa face inférieure est munie de dents en fer fixées radialement à une certaine distance les unes des autres; il peut être mis en mouvement à l'aide d'une manivelle ou par l'intermédiaire d'un engrenage. Du mercure

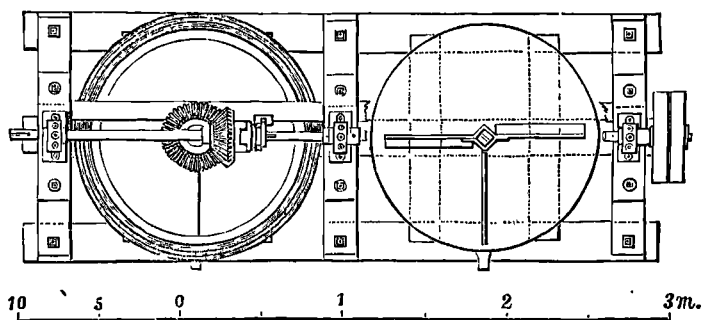


Fig. 713. — Cuves d'amalgamation ou tinas; vue supérieure et coupe horizontale.

est versé sur le fond de la cuve. Par la rigole *a*, on fait couler la pulpe du minerai aurifère sortant du bocard dans la cavité du coursier. De cette dernière, la pulpe se répand entre la face inférieure du coursier et le fond de la cuve; là, elle est mise en contact intime avec le mercure par les

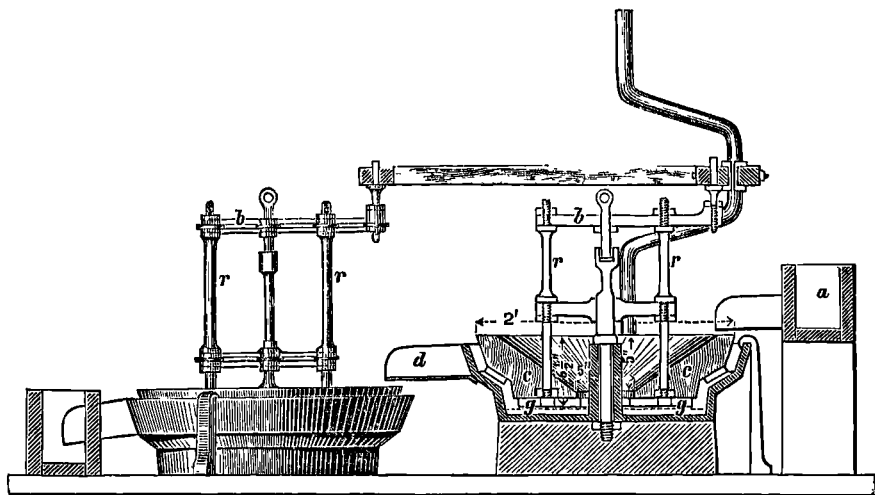


Fig. 714. — Moulins d'amalgamation.

dents du coursier en rotation et elle sort finalement, par la gouttière *d*, qui ordinairement la déverse (comme le montre la figure) dans un second moulin semblable, où se continue l'amalgamation.

La figure 715 représente un autre amalgamateur. Il se compose de la cuve *v* et du coursier *H*. La pulpe aurifère est introduite par le tube *a*, qui

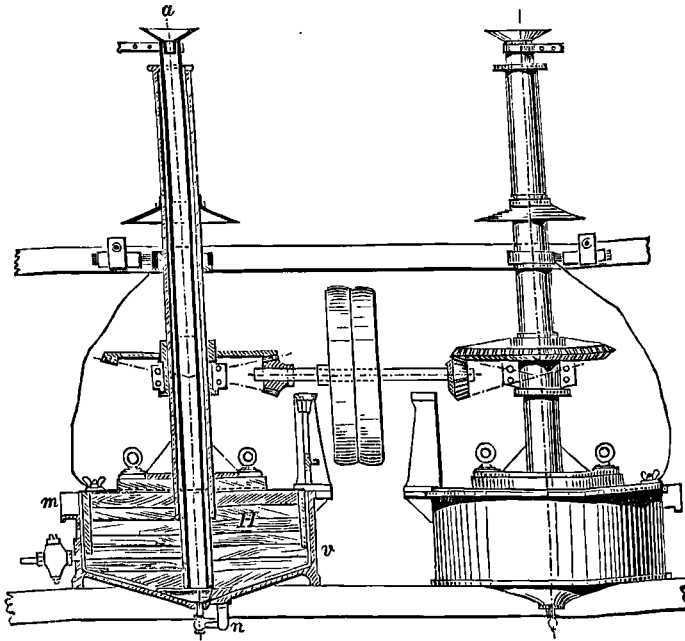


Fig. 715. — Amalgamateurs.

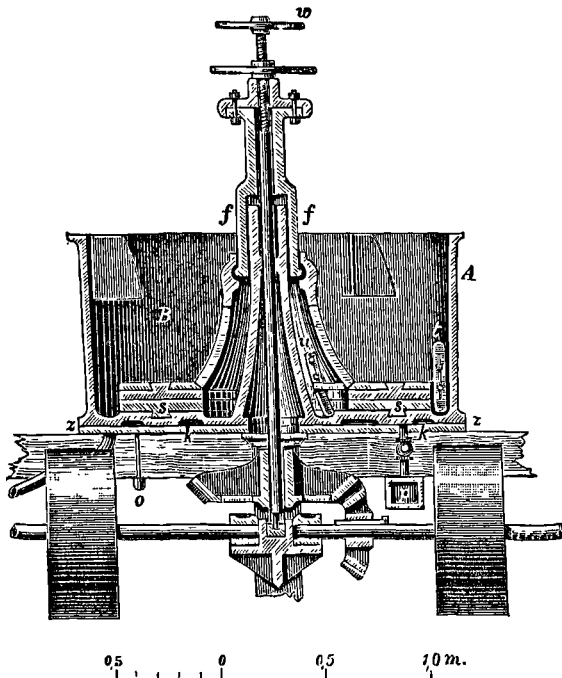


Fig. 716. — Chaudière à amalgamation de Horn.

plonge dans le mercure contenu dans la cuve. Le minerai se rassemble au-dessous du coursier et il est, par ce dernier, mis en contact intime avec le mercure. La pulpe sort par le tube *m* ; l'amalgame est évacué par le tube *n*.

Les *chaudières à amalgamation*, qui trouvent surtout emploi aux États-Unis de l'Amérique du Nord, sont des vases en fonte, dans lesquels tourne un coursier en fer, muni de sabots et fixé à un arbre vertical. Les sabots pénètrent dans le mercure qui se trouve sur le fond de la chau-

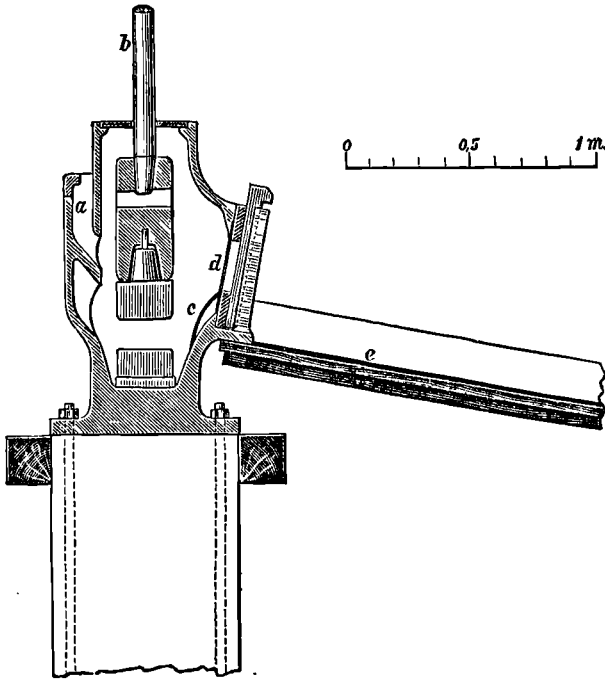


Fig. 717. — Bocard.

dière et mettent le minerai en contact avec le métal aussi intimement que possible.

Il existe un grand nombre de dispositions de chaudière.

La *chaudière de Horn* est représentée par la figure 716. A est la chaudière, B le coursier muni des sabots *s*. Dans les canaux circulaires *k, k*, qui se trouvent sur le fond *z* de la chaudière, circule de la vapeur pour le chauffage de celle-ci, ce qui favorise l'amalgamation. La vapeur pénètre par *o* et est évacuée par *p*. Le mouvement est produit au moyen de roues dentées. Le coursier ou meule tournante (molette, muller) peut être élevé et abaissé à l'aide d'une tige filetée munie de la roue à main *w* ; *t* et *u* sont des racloirs adaptés sur les bords extérieurs et intérieurs du coursier.

Un *dispositif de bocardage* est mis en évidence par la figure 717, *b* est un pilon rotatif, qui est soulevé et abaissé alternativement dans l'auge



ou mortier du bocard. Les masses à bocarder sont chargées dans l'auge par la fente *a*. Le mercure, qui est introduit dans l'auge à de courts intervalles, forme avec l'or du minerai un amalgame, qui se dépose sur la plaque de cuivre amalgamée convexe *c*. Au-dessus de cette dernière, est adapté un tamis *d*, par lequel est évacué la pulpe du minerai. Cette dernière coule sur les plaques amalgamées *e*, sur lesquelles il se dépose encore une partie de l'amalgame d'or entraîné. La plaque de cuivre amalgamée *c* peut être facilement retirée de l'auge. Elle est enlevée de temps en temps et débarrassée de l'amalgame d'or adhérent.

#### b. — Dispositifs de lavage.

Ces dispositifs ont pour but de soumettre l'amalgame à un lavage, afin de le débarrasser des résidus de l'amalgamation. Ces appareils consistent surtout en gouttières, tonneaux et tables de lavage de formes extrêmement variées. Comme dispositifs de lavage spéciaux pour l'amalgamation, nous mentionnerons le settler et les agitateurs en usage aux États-Unis de l'Amérique du Nord.

Le *settler* ou cuve de clarification consiste en une cuve cylindrique verticale munie d'un agitateur et dont le fond est en fonte, tandis que ses parois sont ordinairement en bois.

L'agitateur se compose de quatre bras en fer disposés en croix et fixés à une cloche (*driver*); ces bras portent des sabots en bois ou en fonte, ayant la forme d'un soc de charrue; ou bien il consiste en un disque en fer fixé à la cloche et muni de longs sabots en bois placés suivant les rayons du disque.

La première disposition est mise en évidence par la figure 718. *a, a* sont les bras fixés à la cloche, *b, b* les sabots en bois. La dernière disposition, qui est actuellement la plus usitée est représentée par la figure 719. *s* est le disque en fer fixé à la cloche *G* et *u, u* sont les sabots en bois fixés au disque *s* suivant ses rayons.

Les sabots descendent presque sur le fond du settler et peuvent être remontés et abaissés de la même manière que le coursier des chaudières. Le fond du settler est incliné vers la paroi latérale et il est muni contre cette dernière d'une rigole, dans laquelle se rassemble l'amalgame liquide et de laquelle il s'écoule par un tube dans un vase placé en dehors du settler. Ce vase se trouve immédiatement contre la paroi du settler, et il est vidé de temps en temps ou bien il est placé au-dessous de celui-ci, de façon que l'amalgame puisse s'écouler d'une manière continue. La première disposition est mise en évidence par la figure 718. *d* est le réservoir à amalgame, duquel ce dernier est écoulé, après enlèvement du

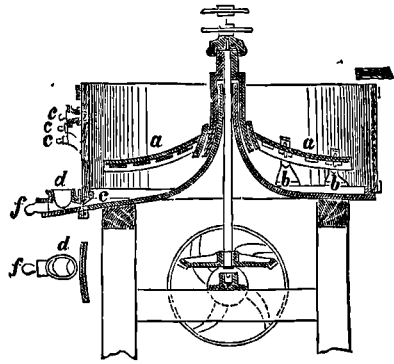


Fig. 718. — Settler; ancien dispositif.

tampon *f*. Dans le dispositif représenté par la figure 719, l'amalgame s'écoule du settler sans interruption. Dans la paroi latérale de ce dernier sont pratiquées à différentes hauteurs des ouvertures *e*, *c*, par lesquelles sont éliminés les résidus en suspension dans l'eau.

La disposition de l'*agitateur* ou *concentrateur* est mise en évidence par

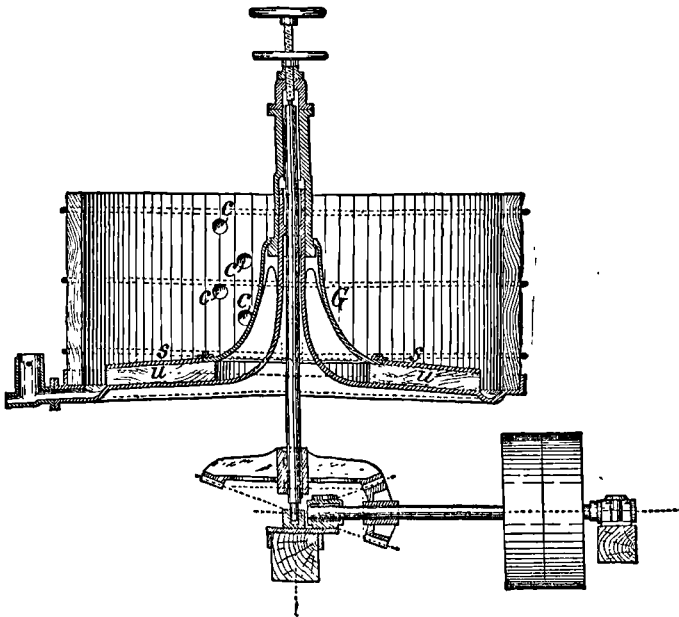


Fig. 719. — Settler ; nouveau dispositif.

la figure 720. Cet appareil consiste en une cuve munie d'un agitateur. Ce dernier se compose d'un arbre vertical, auquel sont adaptés quatre bras en fer. A ces bras sont fixées verticalement des baguettes agitatrices en bois. Par le mouvement de cet agitateur, les masses sont brassées et l'amalgame se dépose au fond de l'appareil, d'où il est écoulé par une ouverture particulière. Au moyen d'une tige filetée et d'une roue à main, on peut élever ou abaisser l'agitateur.

#### c. — Dispositifs pour séparer l'amalgame du mercure en excès.

Ce sont le plus souvent des sacs en toile à voile, qui sont suspendus de façon que par son propre poids le mercure filtre à travers leurs pores.

Les sacs en toile à voile sont cousus directement sur un anneau en fer ou bien fixés sur du cuir, qui à son tour est cousu sur l'anneau. Le poids d'amalgame qu'ils admettent va jusqu'à 600 kilogrammes ; ce poids suffit pour faire sortir par les pores de la toile la majeure partie du mercure. Depuis quelque temps, afin d'éviter les vols d'amalgame, on suspend les sacs dans des boîtes, qui sont tenues fermées au moyen d'un couvercle

muni d'un cadenas. La disposition de pareilles boîtes est mise en évidence par la figure 721. *b* est le sac à amalgame fixé à un anneau en fer *n*. Le couvercle de la boîte est fermé au moyen du cadenas *a*. Dans le pre-

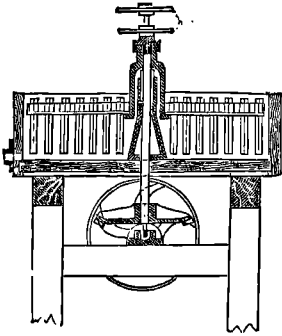


Fig. 720. — Agitateur.

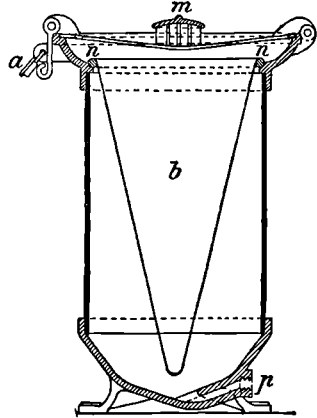


Fig. 721. — Filtre à amalgame fermé

mier est ménagée une ouverture *m*, par laquelle l'amalgame est écoulé dans le sac. Le mercure séparé par filtration à travers ce dernier se rassemble dans la boîte, d'où il passe par l'ouverture *p* dans un réservoir collecteur.

**C. — Dispositifs accessoires fonctionnant en même temps que les dispositifs de séparation de la voie humide.**

Parmi ces dispositifs, nous devons surtout mentionner les dispositifs pour élever des liquides, les dispositifs pour produire et transporter des gaz et les dispositifs pour rendre inoffensifs les gaz et les vapeurs.

**a. — Dispositifs pour élever des liquides.**

On emploie pour élever des liquides des pompes, des roues à augets, des injecteurs et des monte-jus. Ces appareils doivent être faits d'une matière qui ne soit pas attaquée par les liquides à élever.

Les *monte-jus* sont des cylindres horizontaux ou verticaux dans lesquels on introduit le liquide à élever. Par un tube descendant jusqu'au fond du vase, le liquide est refoulé dans le lieu où il doit être employé. Par un second tube, de l'air comprimé (ou de la vapeur d'eau) est introduit dans le monte-jus. Sous l'influence de la pression

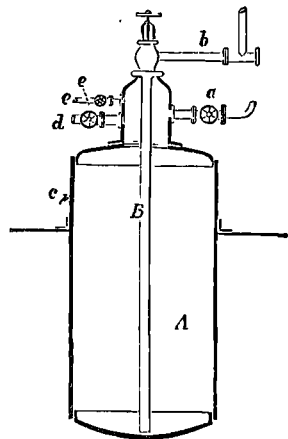


Fig. 722. — Monte-jus.

exercée sur la surface du liquide, ce dernier est refoulé dans le premier tube.

La disposition d'un *monte-jus* est mise en évidence par la figure 722.

A est le monte-jus, *e* un tube pour y introduire le liquide, B le tube dans lequel celui-ci est refoulé, *a* le tube pour l'introduction de l'air (ou de la vapeur d'eau) destiné à agir sur la surface du liquide, *d* un tube pour la sortie de l'air (ou de la vapeur d'eau).

On se sert des monte-jus pour élever l'acide sulfurique et l'ammoniaque liquide, ainsi que pour introduire des masses boueuses dans les filtres-presses.

Dans certains procédés d'amalgamation, on se sert pour élever le mercure d'appareils dits *élévateurs à mercure*. Un pareil élévateur consiste en une chaîne sans fin à godets, qui se meut dans une boîte en fer.

#### b. — Dispositifs pour la production et le transport des gaz.

Ces appareils offrent des dispositions extrêmement variées, qui dépendent de la nature du procédé de séparation. Les gaz sont refoulés dans les liquides ou bien ils montent dans des tours, dans lesquelles tombe le liquide. Dans le premier cas, on a recours à la pression gazeuse produite dans le vase où le gaz est dégagé, ou on refoule les gaz dans le liquide à l'aide de compresseurs ou d'injecteurs ou bien on l'aspire à travers ce dernier au moyen d'injecteurs.

#### c. — Dispositifs pour rendre inoffensifs les gaz et les vapeurs.

Ces dispositifs sont les mêmes que ceux qui sont employés pour rendre inoffensifs les gaz et les vapeurs qui se produisent dans les procédés de séparation par voie sèche.

Pour rendre inoffensif l'acide sulfureux qui se dégage lors de la séparation de l'or et de l'argent par l'acide sulfurique concentré bouillant, on emploie avec avantage le procédé de RÜSSLER décrit précédemment (p. 587).

### 3. — Dispositifs de séparation par la voie électrométallurgique.

#### A. — Dispositifs de séparation proprement dits.

Les appareils dans lesquels les opérations électrométallurgiques par *voie sèche* sont effectuées sont les fours déjà mentionnés précédemment (p. 536), dans lesquels la chaleur est produite par le courant électrique.

Les appareils dans lesquels sont pratiquées les opérations électrométallurgiques par *voie humide* sont disposés différemment suivant la nature du procédé électrométallurgique à appliquer. Dans les pages suivantes nous allons examiner les plus importants des dispositifs dont on se sert pour le raffinage du cuivre, l'affinage de l'or et la précipitation de l'or de ses dissolutions.

Dans le procédé de *raffinage du cuivre*, avec séparation simultanée du cuivre d'avec l'argent et l'or, on emploie comme anode du circuit l'alliage

coulé en plaques de forme convenable, comme électrolyte une solution de sulfate de cuivre, comme cathodes des lames de cuivre ; avec une tension convenablement choisie, le cuivre, dans ces conditions, est dissous à l'anode et précipité à la cathode, tandis que les métaux précieux restent à l'anode et se précipitent au fond du bain sous forme d'un schlamm.

Dans le *raffinage du cuivre*, on distingue les bains avec électrodes disposées parallèlement (*système multiple*) et les bains avec électrodes disposées les unes derrière les autres (*montage en série*).

*Disposition des appareils dans le système multiple.*

Les bains sont en bois et munis d'un revêtement en plomb laminé ou en jute asphalté. Le fond doit se trouver assez bas au-dessous du bord inférieur des électrodes, pour qu'il ne puisse pas se produire de courts circuits entre ces derniers et le schlamm déposé sur le fond. Les anodes se composent de cuivre coulé, qui doit être aussi pur que possible. Si le métal est impur, il doit être préalablement raffiné. L'épaisseur des plaques-anodes s'élève à 15-38 millimètres, leur longueur est de 1 mètre en

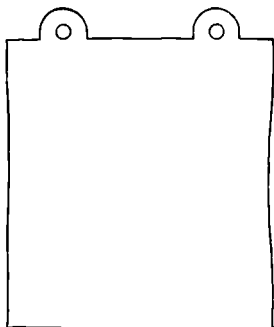


Fig. 723. — Anode avec trous de suspension.

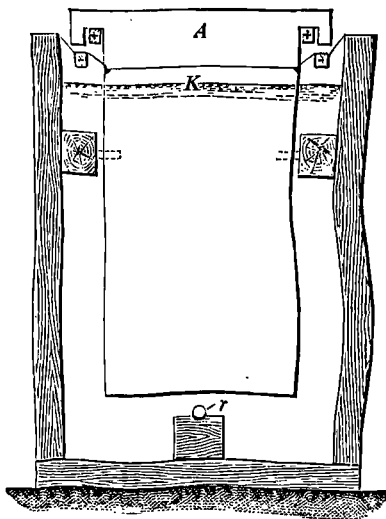


Fig. 724. — Bain de raffinage du cuivre : coupe transversale.

moyenne et leur largeur de 50 à 60 centimètres. Les anodes sont ordinairement suspendues aux conducteurs qui leur correspondent à l'aide des oreilles dont elles sont munies à leurs deux angles supérieurs. Les anodes sont aussi fixées au moyen de crochets à une tige métallique, dans lequel cas on ménage, lors du coulage, des trous pour les crochets (fig. 723). Les cathodes sont de minces lames de cuivre, qui sont ordinairement formées de cuivre électrolytique. Elles sont fixées aux conducteurs correspondant à l'aide de rubans de cuivre. Les points de réunion doivent se trouver au-dessus du niveau du liquide, ou être protégés contre l'action de ce dernier au moyen d'un enduit de paraffine ; afin de pouvoir enlever facilement sous forme de plaques le cuivre précipité sur les cathodes, on enduit

celles-ci avec de l'éther de pétrole ou avec de l'huile ou de la paraffine et on recouvre leurs bords avec de la paraffine.

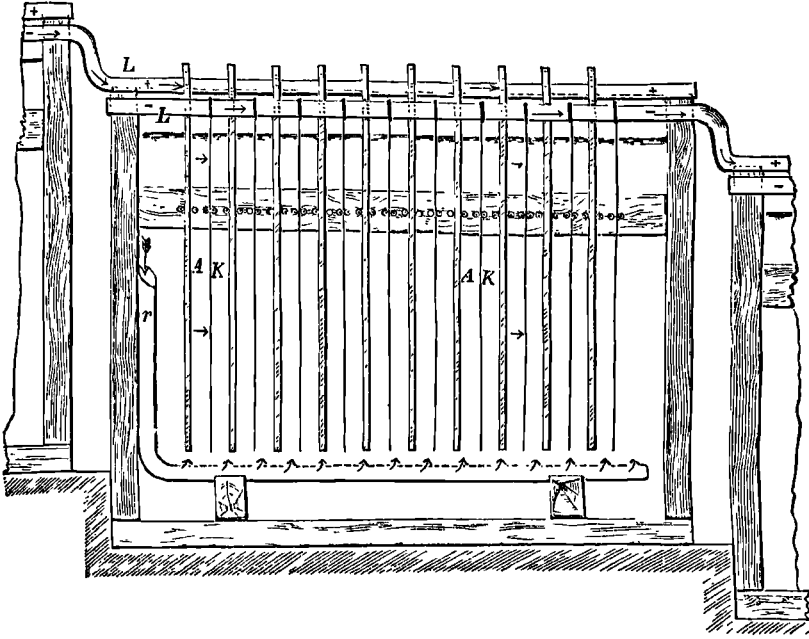


Fig. 725. — Bain de raffinage du cuivre ; coupe longitudinale.

Les tiges conductrices auxquelles sont suspendues les électrodes sont en cuivre électrolytique et établies au-dessus des bords suivant leur lon-

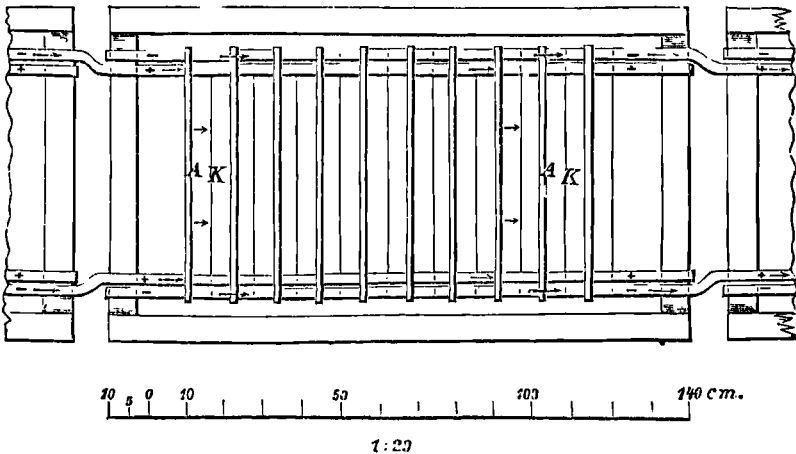


Fig. 726. — Bain de raffinage du cuivre ; coupe horizontale.

gueur. Elles ont quelques centimètres d'épaisseur et sont disposées de façon que chaque électrode puisse être enlevée facilement et remplacée

par une autre. Si le nombre des anodes contenues dans un bain =  $n$ , le nombre des cathodes doit être =  $n + 1$ . L'expérience a montré que la distance la plus convenable à laisser entre les électrodes était de 5 centimètres.

La disposition d'un bain, telle qu'on la rencontre dans les anciennes installations, est mise en évidence par les figures 724 à 726. L, L sont les tiges conductrices en cuivre, auxquelles sont suspendues alternativement les plaques anodiques A et les lames cathodiques K. Les conducteurs des

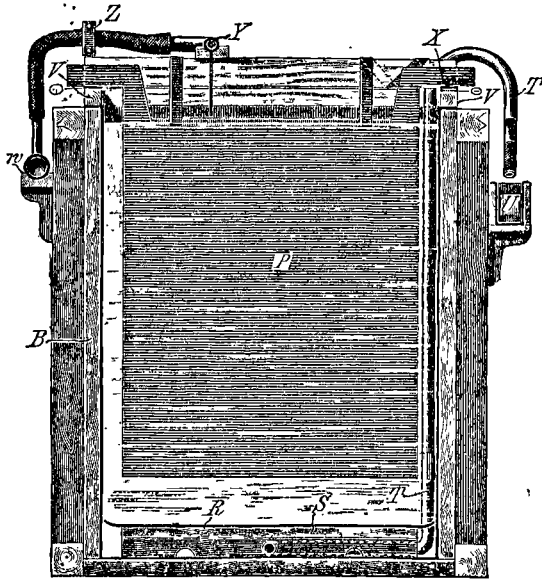


Fig. 727. — Bain de raffinage du cuivre (nouveau dispositif) ; coupe transversale montrant une anode.

anodes sont désignés par le signe +, ceux des cathodes par le signe —. La voie suivie par le courant est indiquée par des flèches horizontales. Sur chacune des longues parois du bain est fixée une latte en bois, dans laquelle sont enfoncées des chevilles également en bois. Ces dernières, en s'opposant au rapprochement des électrodes les unes des autres, les maintiennent à la distance convenable pour éviter les courts circuits. L'électrolyte remplit les cellules presque jusqu'à la hauteur des tiges conductrices les plus basses. Le mode d'association des baigns en tension, qui dans les nouvelles installations est réalisé d'une façon plus simple, est mis en évidence par les figures 725 et 726.

La disposition d'un nouveau bain est représentée par les figures 727 à 729. P sont les anodes, Q les cathodes ; les baigns sont des caisses en bois de pitchpin, revêtues de plomb intérieurement. Ce dernier est recourbé par-dessus le bord de la caisse. Sur celui-ci, ainsi recouvert de plomb, est appliqué un cadre en bois, afin d'isoler les conducteurs des courants + et —, qui consistent en deux rubans de cuivre laminé. Le bois

du cadre est imprégné d'huile ou d'autres liquides empêchant l'absorp-

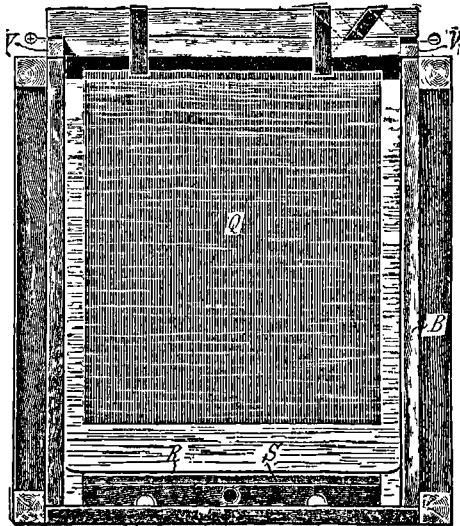


Fig. 728. — Bain de raffinage du cuivre (nouveau dispositif); coupe transversale montrant une cathode.

tion de l'eau. On suspend les anodes dans les bains par les oreilles dont

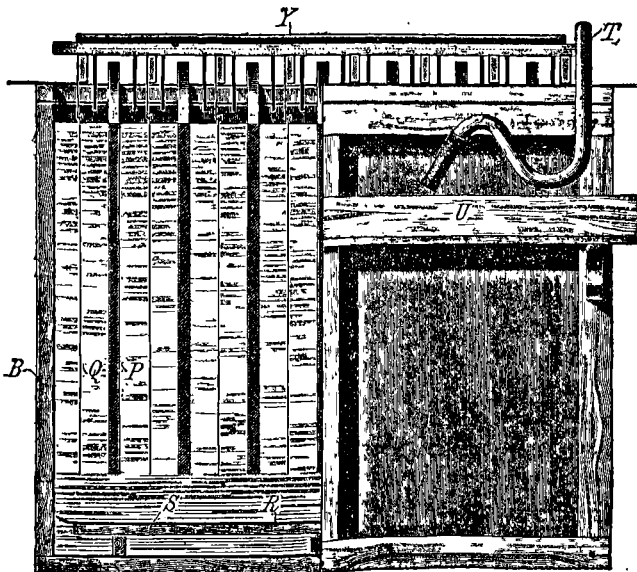


Fig. 729. — Bain de raffinage du cuivre (nouveau dispositif); coupe longitudinale et vue extérieure.

elles sont munies à leurs angles supérieurs, en ayant soin de les isoler des



conducteurs cathodiques, au moyen d'une couche de caoutchouc X. Avant de suspendre les anodes, on introduit dans le bain le tube en plomb T en forme de siphon, pour faire écouler l'électrolyte ; on dispose ensuite sur un

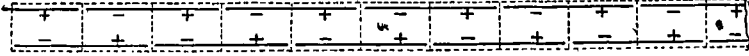


Fig. 730. — Plan de la mise en circuit des bains de raffinage du cuivre.

support en bois une cuvette R, formée d'une lame de plomb, dont les bords sont recourbés par en haut, et dans laquelle se rassemble le schlamm des anodes. Les cathodes sont suspendues par des crochets, faits de rubans de cuivre, à des tringles en bois. Un de ces rubans est un peu plus long,

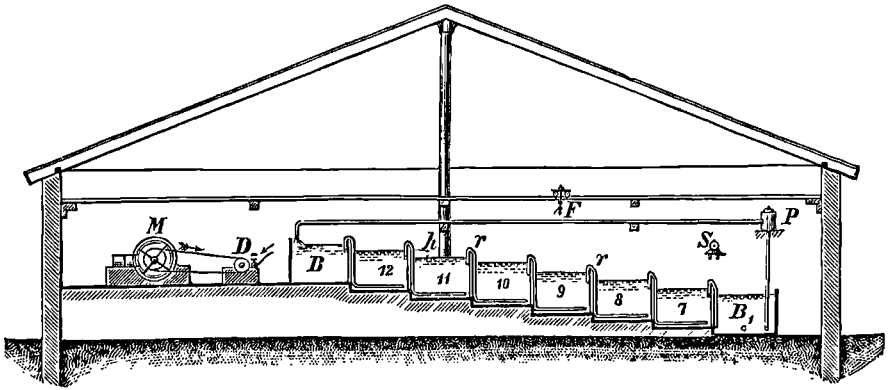


Fig. 731. — Disposition d'un atelier de raffinage du cuivre ; coupe longitudinale.

afin que, comme on le voit dans la figure 728, on puisse, après l'avoir enroulé plusieurs fois autour des tringles de bois, le mettre en contact avec le conducteur, et établir ainsi la communication de la cathode avec ce conducteur. Comme on le voit par le schéma que représente la

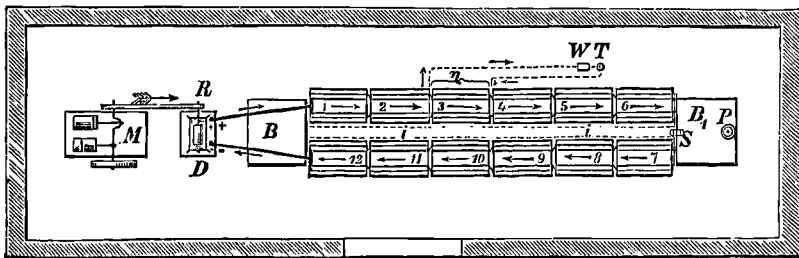


Fig. 732. — Disposition d'un atelier de raffinage du cuivre ; plan.

figure 730, les bains sont disposés les uns derrières les autres (en tension). Cette disposition, qui est le plus simple et le plus convenable, est actuellement presque la seule usitée.

Comme on l'a déjà dit précédemment il est très important que l'élec-

trolyte soit soumise à un vif mouvement. Au moyen d'air comprimé ou de pompes en plomb aigre, on le monte dans un bassin établi à un niveau élevé et de ce bassin on le fait couler dans les bains. De ces derniers, on le retire à l'aide de tubes de vidange ou de siphons en plomb. La circulation de l'électrolyte peut être établie de façon que le liquide traverse tous les bains ou des groupes de bains ou qu'il ne reste que dans un seul bain et s'y meuve. Dans le premier cas, pendant la circulation, la teneur en acide aussi bien qu'en cuivre diminue, ce qui n'a pas lieu dans le second cas. La circulation de l'électrolyte dans un seul et même bain mérite donc la préférence. Pour que la circulation de l'électrolyte se fasse plus commodément, on dispose dans le premier cas les bains en gradins les uns au-dessus des autres, comme le montrent les figures 731 et 732. Il y a ici deux séries de bains. Du vase collecteur B, la solution coule par des tubes en plomb jusque sur le fond des deux bains supérieurs et elle sort par les extrémités du tube qui sont horizontales et perforées. Des bains supérieurs, la solution s'écoule de la même manière dans les bains inférieurs suivants et elle arrive finalement des bains les plus bas dans le réservoir collecteur B<sub>1</sub>, duquel elle est remontée par la pompe P

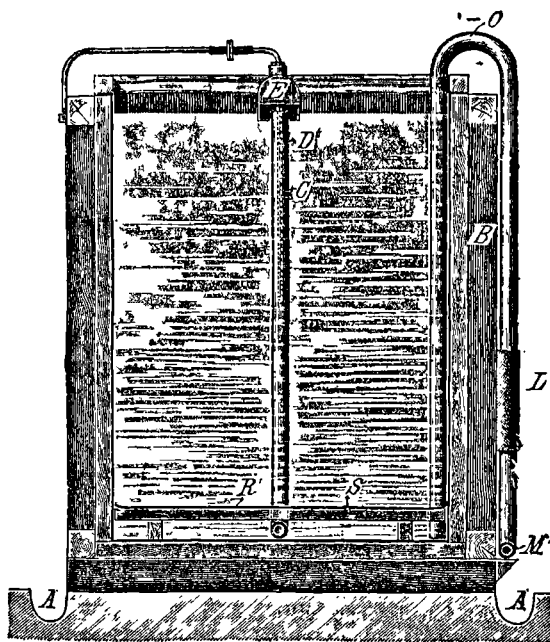


Fig. 733. — Bain de raffinage du cuivre avec appareil pour insufflation d'air ; coupe transversale.

dans le bassin B, pour recommencer à circuler à travers les bains. M est le moteur à vapeur, dont la force est transmise par des courroies à la dynamo D. La voie suivie par le courant électrique, à partir des bornes de la dynamo, est indiquée par des flèches.

La circulation de l'électrolyte dans un seul bain, avec sa purification

simultanée est effectuée à l'aide du dispositif imaginé en même temps par WERNER SIEMENS et les frères BORCHERS, de Goslar. Ce dispositif est basé sur la diminution du poids spécifique d'une partie de l'électrolyte se trouvant dans la partie supérieure du bain par insufflation d'un courant d'air dans ce dernier ; il est représenté dans les figures 733 et 734, empruntées au Traité d'électrometallurgie de BORCHERS. C est un tube en plomb, qui, partant du niveau du liquide, descend jusqu'au fond de celui-ci, en se pro-

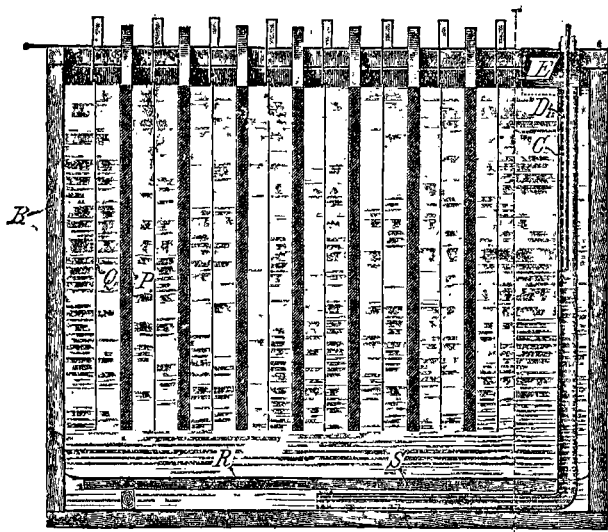


Fig. 734. — Bain de raffinage du cuivre avec appareil pour insufflation d'air; coupe longitudinale.

longeant par ses branches horizontales jusqu'au-dessous de la cuvette à schlamm. Au-dessus de l'orifice supérieur de ce tube est disposé un chapiteau en plomb E. Le tube C renferme un tube en verre D terminé inférieurement par une pointe fine et maintenu au moyen d'un bouchon dans le chapiteau E. Par ce tube D, qui peut être facilement relevé ou abaissé, on introduit de l'air dans la colonne liquide contenue dans le tube C. L'air insufflé se dissémine dans le liquide sous forme de petites bulles et diminue ainsi le poids spécifique de la colonne liquide qui se trouve au-dessus de l'extrémité inférieure du tube de verre. Cette colonne est par suite refoulée de bas en haut par la colonne d'électrolyte qui se trouve en dehors du tube dans le bain et elle s'écoule à la partie supérieure du tube, pour se disséminer dans le bain. Tant que de l'air est insufflé, il pénètre de l'électrolyte dans le tube en plomb par son extrémité inférieure et il en sort à son extrémité supérieure. Comme l'air traverse tranquillement et uniformément le liquide, la circulation de ce dernier est aussi tout à fait uniforme. Le liquide n'est retiré du bain que lorsqu'il doit être rejeté. Le remplissage et la vidange des bains sont effectués à l'aide d'une conduite tubulaire M, qui communique avec chacun des bains au moyen d'un siphon O. Ce siphon est relié à la conduite par un tuyau en caoutchouc. Pendant le

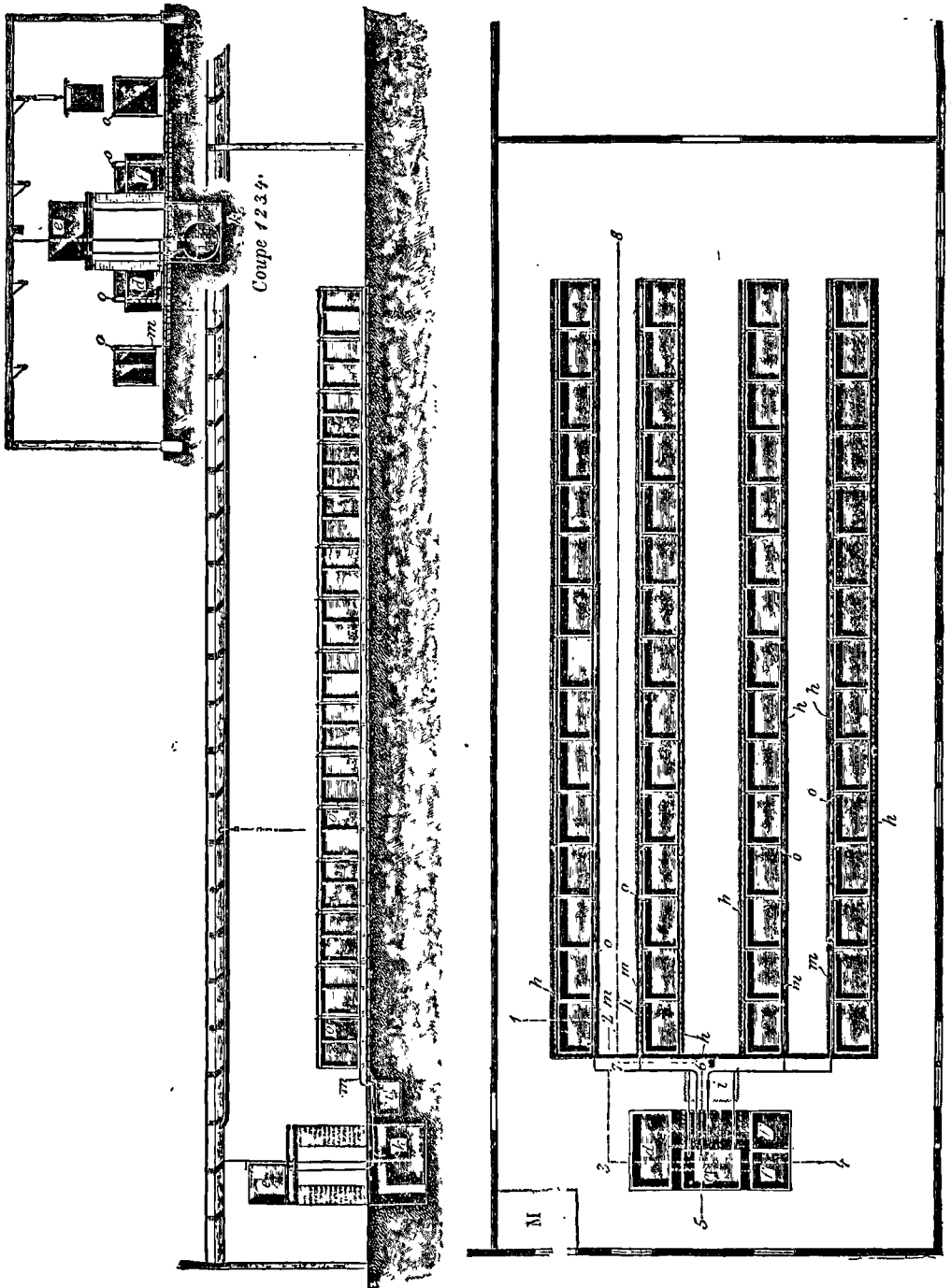


Fig. 735, 736 et 737. — Disposition générale d'une raffinerie de cuivre d'après le système Siemens-Borchers.

travail, ce dernier est fermé à l'aide d'une pince à vis; la formation de courants dérivés, dans la colonne liquide tombant dans le bain, est ainsi évitée. Les bains reçoivent l'électrolyte d'un réservoir établi à un niveau supérieur et dans lequel le liquide est refoulé au moyen d'un monte-jus. Pour vider les bains, on aspire le liquide, par le siphon dont il a été question précédemment et la conduite M, dans un vase servant de monte-jus.

L'installation tout entière avec les dispositifs pour conduire les liquides est mise en évidence par les figures 735, 736 et 737. *k* est un monte-jus, *d* est un réservoir pour les solutions fraîches. Celles-ci sont introduites dans le monte-jus *k* et ensuite refoulées par ce dernier dans le réservoir distributeur, duquel elles se rendent par les conduites tubulaires *m* et les siphons *o* dans les différents bains. Les liquides à retirer des bains sont également aspirés par ce monte-jus à l'aide du siphon *o* et des conduites tubulaires *m* et envoyés aux appareils épurateurs. Dans le plancher sont ménagées des rigoles *h*, pour recueillir les liquides qui peuvent s'écouler des bains par suite de fuites. Ces rigoles conduisent les liquides dans le réservoir *i*, qui est en communication avec le monte-jus. *f*, *f* sont des caisses pour le lavage des schlamms des anodes. M est le local renfermant les instruments de mesure.

Dans beaucoup de cas, l'électrolyte est chauffé à 40-50°.

L'emploi de hautes densités de courant, au lieu de faibles densités, permet de réduire la surface nécessaire pour l'installation de l'usine, ainsi que la quantité de cuivre nécessaire dans les bains, et il diminue notablement la main-d'œuvre. Bien que la dépense de force soit plus grande, les frais de fabrication, par suite des avantages qui viennent d'être signalés, sont cependant, avec une densité de courant de 100 ampères par mètre carré, de 20 p. 100 environ plus faible qu'avec une densité de 30 ampères par mètre carré. Lorsqu'on emploie de hautes densités de courant, il est nécessaire que le cuivre traité soit pur et que l'électrolyte soit maintenu aussi pur que possible.

#### *Disposition des appareils dans le montage en série.*

La disposition des électrodes les unes derrière les autres, le montage en séries, n'est plus que rarement usitée. A ce groupe appartiennent le système de HAYDEN, le système de SMITH et le système RANDOLPH. Dans ces systèmes, il n'y a qu'une seule lame cathodique à l'extrémité de chaque bain, les plaques de cuivre placées dans le bain étant, à l'exception de cette lame cathodique, d'un côté des cathodes et de l'autre côté des anodes et ne se trouvant en communication conductrice que par l'électrolyte. Dans le seul système avec montage en série des électrodes encore actuellement en usage, le système de HAYDEN, les électrodes sont suspendues verticalement dans les bains, tandis que dans les systèmes de SMITH et de RANDOLPH, elles sont placées horizontalement. La disposition des électrodes d'un bain dans le système de HAYDEN est mise en évidence par la figure schématique 738.

*a* est l'anode, *k* la cathode. Toutes les plaques électrodes qui se trouvent entre *a* et *k* sont du côté gauche des cathodes, du côté droit des anodes.

Les différents bains sont placés les uns derrière les autres. Lorsque le courant traverse le circuit, le cuivre se transporte dans la direction du pôle positif au pôle négatif, se dissolvant sur l'un des côtés des plaques (côté droit dans le schéma) et se précipitant sur le côté opposé de la plaque voisine (côté gauche dans le schéma). Au bout d'un certain temps, chaque plaque de cuivre, à l'exception des deux plaques extrêmes, est par conséquent transformée en cuivre électrolytique. Si maintenant on voulait continuer à faire passer le courant, le cuivre électrolytique se redissoudrait et se précipiterait sur les plaques voisines. Lorsqu'il s'est écoulé un certain temps, il faut donc interrompre le courant, afin de pouvoir retirer des bains le cuivre électrolytique. Pour que toutes les plaques de cuivre soient transformées en même temps en cuivre électrolytique, il

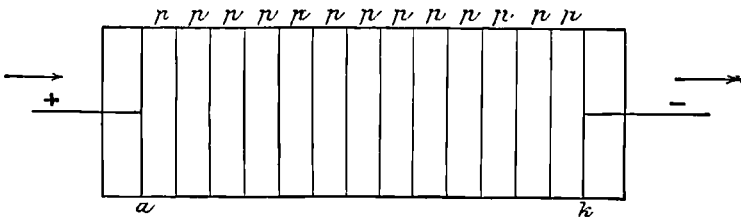


Fig. 738. — Schéma du montage en série (système Hayden).

est nécessaire qu'elles possèdent exactement la même épaisseur. Elles doivent, en outre, être suspendues à la même distance les unes des autres, de façon que la résistance entre elles soit la même. Les plaques doivent être préparées par laminage de cuivre coulé, puis coupées à la grandeur convenable et dressées. Le nombre des plaques suspendues dans un bain s'élève à 140-150, la densité du courant à 160 ampères par mètre carré.

Dans le système de SMITH, qui maintenant n'est plus employé, les plaques étaient placées horizontalement les unes au-dessus des autres. La plaque supérieure était mise en communication avec le pôle positif du conducteur du courant, la plaque inférieure avec le pôle négatif. Ici, par conséquent, le côté inférieur de la plaque supérieure était dissous et le cuivre précipité sur le côté supérieur de la plaque inférieure venant immédiatement après. Entre chaque plaque se trouvait un diaphragme en coton, afin de retenir les corps solides non dissous. La circulation de l'électrolyse avait lieu dans le sens horizontal.

Dans le système de RANDOLPH, qui a été également abandonné, les plaques étaient aussi disposées horizontalement les unes au-dessus des autres, mais la plaque inférieure était reliée avec le pôle positif du conducteur et la supérieure avec le pôle négatif. Le cuivre était par conséquent dissous sur le côté supérieur des plaques et précipité sur le côté inférieur des plaques immédiatement supérieures. Ici, un diaphragme n'était pas nécessaire. La lessive circulait en sens horizontal. Dans ces deux systèmes, les perturbations qui se produisaient pendant le travail ne pouvaient être que difficilement déterminées et supprimées.

On prépare aussi dans les bains des *objets en cuivre*, surtout des *tubes*

(Procédé d'ELMORE). Dans la préparation des tubes, les cathodes sont

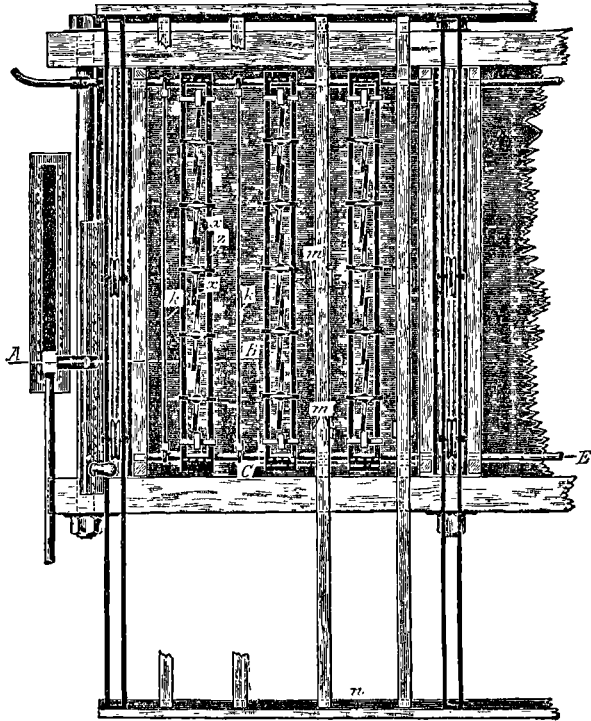


Fig. 739. — Appareil de Moebius pour la séparation de l'argent et de l'or; plan.  
formées de cylindres rotatifs, sur lesquels le cuivre est précipité. Dans le

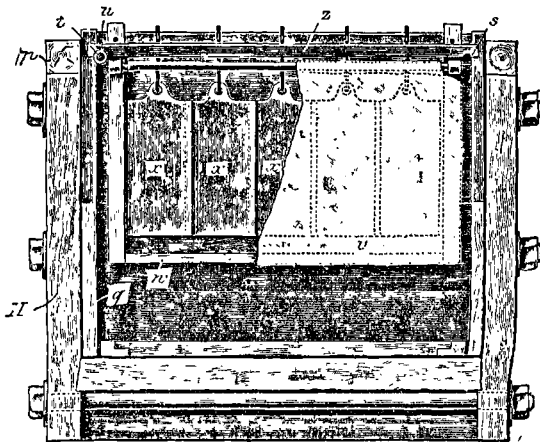


Fig. 740. — Appareil de Moebius; coupe transversale en avant des anodes.  
procédé de THORBERN, l'électrolyte est amené sous une forte pression

hydraulique dans des tubes en plomb, munis d'un mandrin et d'une série de petits trous.

La *séparation de l'argent et de l'or* est basée sur le principe suivant : Lorsqu'on emploie comme anode de l'argent aurifère, comme cathode une plaque d'argent et comme électrolyte une solution d'azotate d'argent très étendue, l'argent, avec une tension convenable, se sépare à la cathode, tandis que l'or reste à l'anode à l'état pulvérulent. En renfermant l'anode dans un sac en coton, on peut recueillir l'or dans ce dernier. L'argent, pendant l'électrolyse, ne se sépare pas à l'état compact, mais en cristaux, qui donnent lieu à la formation des courts circuits. Pour éviter cet inconvénient, des dispositifs particuliers sont nécessaires. Dans les appareils

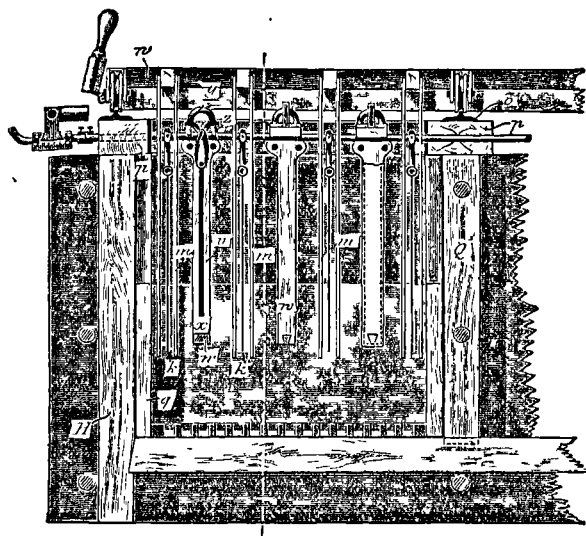


Fig. 741. — Appareil de Moebius ; coupe longitudinale suivant ABCDE (fig. 739).

avec cathodes, qui pendant l'électrolyse sont suspendus dans les baigns et ne changent pas leur position, ces dispositifs consistent en râcloirs mobiles qui détachent continuellement les cristaux d'argent de la cathode et les font tomber dans les baigns. Dans les nouveaux appareils, il y a des cathodes qui se meuvent comme des rubans sans fin et desquelles l'argent est détaché au moyen de dispositifs particuliers et se rassemble en dehors des baigns.

La disposition des appareils nommés en premier lieu (appareils de Moebius) est mise en évidence par les figures 739 à 743.

Les baigns sont des caisses en bois de pitchpin muni d'un enduit de goudron ; elles ont 3,75 mètres de longueur et 60 centimètres de largeur intérieurement. Elles sont divisées chacune en sept compartiments, dans chacun desquels sont suspendues trois séries d'anodes et quatre cathodes, Au-dessous des électrodes se trouve une boîte munie d'un fond en toile, destinée à recevoir le précipité d'argent. A un châssis mobile sur des poulies fixées sur les bords des baigns, sont suspendus des râcles en bois qui



détruisent les courts circuits résultant de l'agglomération des cristaux d'argent et produisent en même temps le mouvement de l'électrolyte.  $x, x$  sont les anodes suspendues à l'aide des crochets  $y$  au cadre métallique  $z$ . Ce dernier est à une de ses extrémités en communication avec le conducteur positif du courant  $s$ , tandis qu'à son autre extrémité il est séparé du

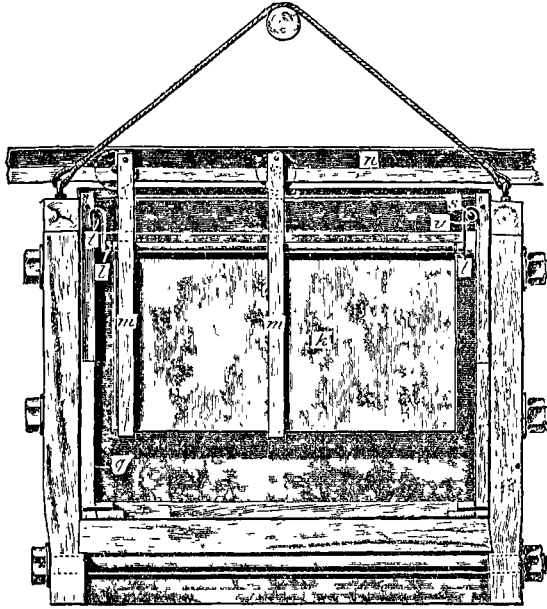


Fig. 742. — Appareil de Moebius ; coupe transversale en avant d'une cathode.

conducteur négatif  $t$  par une couche isolante  $u$ . Ces anodes ont une épaisseur de 6 à 10 millimètres et, pour recueillir ce qui reste après la dissolution de l'argent, elles sont entourées de sacs  $v$  en toile filtrante. Ces

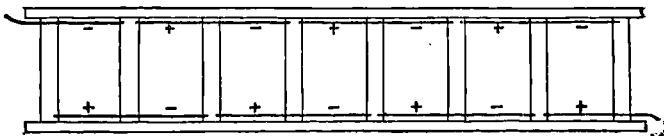


Fig. 743. — Schéma de la mise en circuit des compartiments de l'appareil de Moebius.

sacs sont tendus sur un support en bois  $w$ , qui est lui-même suspendu au cadre  $z$ .  $k, k$  sont les cathodes formées de minces lames d'argent soudées à une baguette de cuivre horizontale. Aux deux extrémités de cette baguette, qui débordent les angles supérieurs des lames d'argent, on a fixé les pinces de communication  $l$ , et de façon que chacune d'elles soit isolée de la baguette de cuivre. Cette disposition permet aussi de se servir du conducteur positif  $s$ , avec lequel les cathodes ne doivent pas être

en communication conductrice, pour la suspension de ces dernières.

Les conducteurs  $s$  (+) et  $t$  (-) sont des baguettes de cuivre, de laiton ou de bronze. Les différents compartiments des bains sont établis en tension (fig. 743). Les appareils de râclage consistent en baguettes de bois  $n$ , dont il y a deux paires pour chaque cellule. Un châssis  $m$  offrant la disposition d'une grille sert à supporter ces baguettes et à les faire mouvoir. Ce

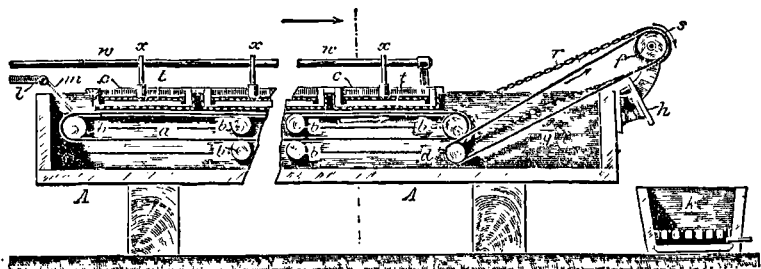


Fig. 744. — Nouvel appareil de Moebius pour la séparation de l'argent et de l'or ; coupe longitudinale.

châssis roule, par l'intermédiaire de poulies sur les rails  $o$ , qui sont fixés sur les pièces transversales du cadre  $p$ , et il reçoit le mouvement de va-et-vient dont il est animé pendant le travail au moyen d'un mécanisme particulier. Le cadre  $p$ , auquel sont fixés tous les dispositifs plongeant

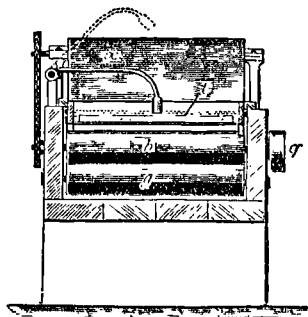


Fig. 745. — Nouvel appareil de Moebius ; coupe transversale.

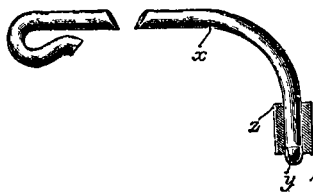


Fig. 746. — Nouvel appareil de Moebius ; fil de cuivre établissant la communication des anodes avec le conducteur.

dans les bains, peut être facilement soulevé au moyen d'un appareil de levage.  $q$  est la boîte pour recevoir les cristaux d'argent. Au moyen de bras partant de sa partie supérieure, cette boîte est fixé au cadre des électrodes et peut être retirée du bain avec ce dernier.

L'appareil avec cathodes mobiles, également indiqué par MOEBIUS, est représenté par les figures 744 à 746<sup>1</sup>. La cathode  $a$  consiste en un ruban sans fin en argent laminé, se mouvant sur les rouleaux  $b, b'$ . L'argent séparé sur la cathode tombe, pendant que celle-ci se meut, sur la toile

<sup>1</sup> BORCHERS, *Traité d'électrometallurgie*, édit. française, par L. GAUTIER, p. 263.

sans fin  $g$ , mue par les rouleaux  $f$ ,  $f'$  et, par la râcle  $h$ , il est projeté dans le vase  $k$ . Les rouleaux sont mis en mouvement au moyen de la poulie  $q$  et de la chaîne sans fin  $rs$ . Les anodes  $t$  sont placées dans les cadres  $v$  sur une toile filtrante à tissu serré ou sur une plaque d'argile poreuse. La communication des anodes avec le conducteur positif  $w$  est établie au moyen des fils de cuivre  $x$ ,  $x'$ , recouverts de platine à leur extrémité inférieure  $y$  et protégés au-dessus de  $y$  contre l'action de l'électrolyte au moyen d'un bout de tube en caoutchouc  $z$ . Les cathodes sont mises en communication avec le conducteur négatif  $l$  au moyen du balai  $m$ .

La figure 147 représente un appareil simplifié de MOEBIUS et NEBEL.

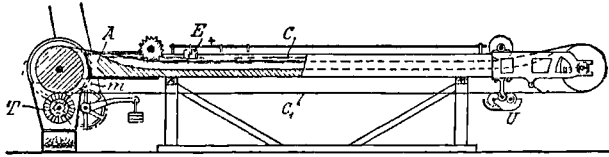


Fig. 747. — Appareil de Moebius et Nebel pour la séparation de l'argent et de l'or.

La cathode est également un ruban d'argent sans fin C C', qui se mouvant sur des rouleaux circule dans la caisse en bois A. L'argent précipité sur le ruban est détaché par la brosse T et tombe dans une boîte collectrice. Afin que l'argent n'adhère pas trop fortement à la cathode, celle-ci est huilée en U pendant son trajet en dehors de la caisse. E sont les anodes qui se trouvent dans des cellules.

*L'extraction de l'or de ses solutions dans le cyanure de potassium,*

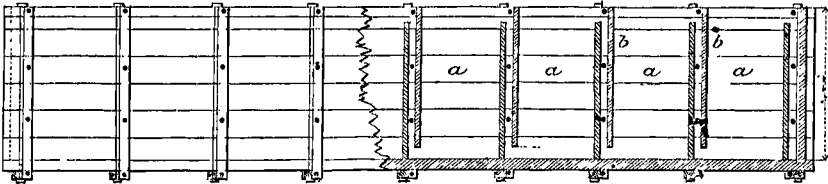


Fig. 748. — Caisse pour la précipitation de l'or de sa solution dans le cyanure de potassium ; vue extérieure et coupe longitudinale.

préparées en dehors du circuit, est actuellement fréquemment effectuée d'après le procédé de SIEMENS et HALSKE. Dans les usines de Worcester (Transvaal), où le procédé a été appliqué pour la première fois (en mai 1894) sur une grande échelle, l'installation se composait de quatre bains ou caisses, dont la disposition est représentée par les figures 748 à 750. Ces caisses ont intérieurement 6,25 mètres de longueur, 2,19 mètres de largeur 1,22 mètre de profondeur. Chaque caisse contient 89 anodes formées de plaques de fer ou d'acier de 2,13 mètres de largeur, 915 millimètres de hauteur et 3,2 millimètres d'épaisseur, et 88 cathodes consistant en lamelles de plomb tendues sur des fils de fer fixés à un cadre en bois ; chaque cadre contient trois lamelles de plomb de 915 × 610 millimètres. La distance entre les électrodes est de 5 centimètres. Les caisses sont

partagées en huit compartiments *a, a*, par des cloisons en bois doubles *b, b*, disposées, comme le montre la figure 748, de façon à laisser entre elles un espace libre, par lequel la solution aurifère à décomposer est

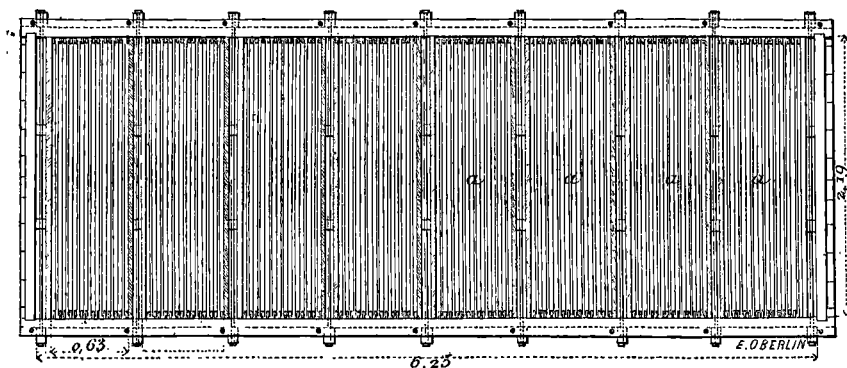


Fig. 749. — Caisse pour la précipitation de l'or; coupe horizontale.

obligée de passer pour se rendre d'une extrémité à l'autre du bain, en traversant successivement tous les compartiments. La densité du courant s'élève à 60 ampères par mètre carré et la tension à 4 volts.

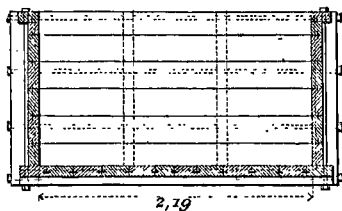


Fig. 750. — Caisse pour la précipitation de l'or; coupe transversale.

Dans ces derniers temps, on a beaucoup agrandi la surface des cathodes, sans augmenter pour cela les dimensions des caisses de pré-

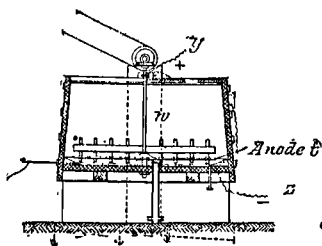


Fig. 751. — Appareil de Pelatan Clerici; coupe verticale.

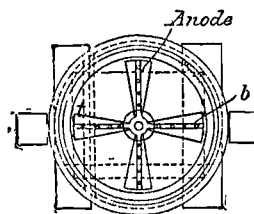


Fig. 752. — Appareil de Pelatan-Clerici; coupe horizontale.

pitation, et dans ce but on a découpé les lamelles de plomb en bandes de chacune 1 centimètre de largeur et pour obtenir un meilleur contact on les a disposées en formes de faisceaux.

Dans le *procédé de PELATAN-CLERICI*, l'or séparé par le courant de la solution cyanurée est uni au mercure. Le procédé a pour but de dissoudre et de précipiter simultanément l'or dans le même appareil. L'opération est effectuée dans des cuves en bois. Sur le fond de celles-ci est placée une plaque de cuivre amalgamée, sur laquelle se trouve une mince couche de mercure. Chaque cuve renferme un arbre vertical muni de bras agitateurs. A ces bras sont fixées des plaques d'acier, qui descendent à une faible distance de la plaque de cuivre amalgamée. Les minerais sont traités dans la cuve par une solution de cyanure de potassium contenant du sel marin et un agent oxydant, pendant qu'en même temps on fait passer à travers la solution un courant électrique. L'anode est formée par les plaques d'acier de l'agitateur, la cathode par le mercure. Le courant est amené à l'anode par l'arbre vertical de la cuve. L'or à l'état de fines particules est dissous par la solution de cyanure de potassium et séparé par le courant sur le mercure, par lequel il est absorbé. Sous l'influence du mouvement de l'agitateur, l'or en gros fragments est amené dans la partie inférieure de la cuve et là il est amalgamé par le mercure.

La disposition d'une cuve est mise en évidence par les figures 751 et 752. Le courant pénètre par  $y$  dans l'arbre vertical  $w$  et par ses quatre bras  $b$  il se rend aux plaques anodes  $t$ , qui se trouvent à 10 centimètres au-dessus des plaques de cuivre amalgamées. La sortie du courant de la cathode a lieu en  $z$ . Les cuves  $a$  ont 2,50 mètres de diamètre et 1,30 mètre de hauteur.

#### B. — Mesure de l'intensité et de la tension des courants.

La marche des opérations électrométallurgiques a besoin d'être contrôlée par la mesure de la tension et de l'intensité du courant.

La *tension du courant* est déterminée d'après l'intensité du courant et la résistance. Si dans un circuit l'intensité du courant  $A$  en ampères et la résistance  $O$  en ohms sont connues, la tension à mesurer  $V$  est en volts, d'après la loi de OHM :

$$V = A \cdot O.$$

La mesure est effectuée à l'aide du galvanomètre. On nomme *ampèremètres* industriels les galvanomètres destinés à mesurer des courants intenses.

On désigne les ampèremètres industriels de haute résistance, avec *échelle en volts*, sous le nom de *voltmètres*.

Le voltmètre le plus employé dans les ateliers électrométallurgiques est le galvanomètre à torsion de SIEMENS et HALSKE, qui repose sur le principe suivant : Un aimant suspendu à un fil de cocon entre deux bobines rotatives coaxiales, qui, sous l'influence du magnétisme terrestre se place suivant la direction nord-sud, est dévié lors du passage du courant à travers les bobines par une force magnétique perpendiculaire à la direction du magnétisme terrestre et se place suivant la direction donnée par la composante des deux forces agissant sur lui. Avant que l'aimant arrive dans la position d'équilibre résultant de l'action commune du

magnétisme terrestre et du courant traversant les bobines, il oscille pendant un certain temps.

Afin d'éviter cet inconvénient, l'aimant est relié à deux ailettes rotatives oscillant dans l'air, qui produisent un ralentissement et amènent l'aimant rapidement au repos. A l'aimant rotatif, est fixé un ressort spiral, qui

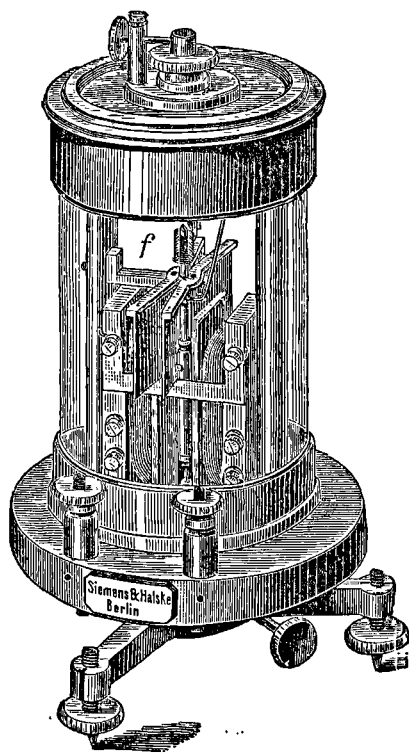


Fig. 753.

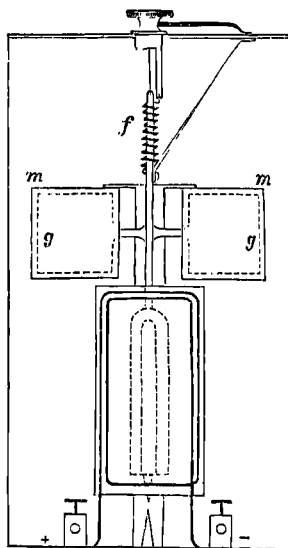


Fig. 754.

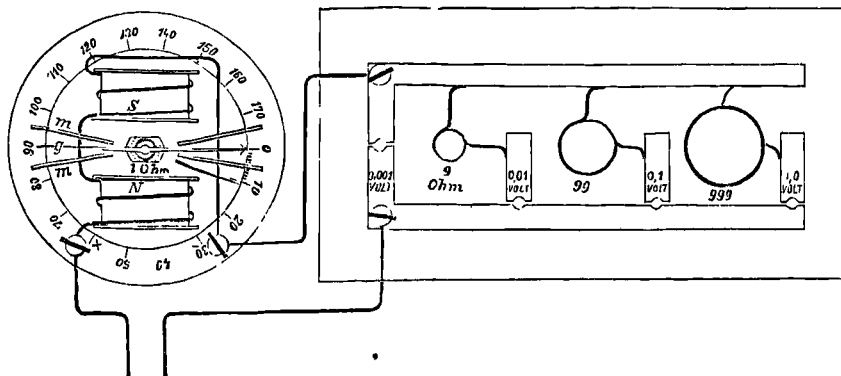


Fig. 755.

Fig. 753, 754 et 755. — Galvanomètre de torsion de Siemens et Halske.

peut être tordu au moyen d'une vis. Si, lors du passage du courant à travers les bobines, l'aimant abandonne sa position de repos, on l'y ramène en agissant à l'aide de la vis sur le ressort de torsion. On lit sur

une échelle la grandeur de la rotation imprimée à la vis. Chaque intensité de courant correspond à une rotation déterminée.

La disposition d'un galvanomètre de torsion est mise en évidence par les figures 753 à 755.

S et N sont deux multiplicateurs établis verticalement. Le fil de cuivre formant leur enroulement est relié aux bornes de l'instrument. Entre les deux multiplicateurs, l'aimant en acier est suspendu à un fil de cocon, au moyen d'une petite baguette de laiton.  $f$  est le ressort spiral relié à la baguette de laiton, c'est-à-dire avec l'aimant. Au moyen de la vis adaptée à l'extrémité supérieure de la baguette de laiton, ce ressort peut être tordu. L'extrémité supérieure de la boîte renfermant le dispositif est fermée par une plaque de verre munie d'une graduation. Au-dessous se meut un index relié à la baguette de laiton. Les lames de mica  $g$ ,  $g$  sont destinées à amortir les oscillations. La déviation s'étant produite, on ramène l'aimant à sa position de repos, en tournant le bouton en laiton, qui se trouve sur la plaque formant le couvercle de la boîte et qui est muni d'un petit index.

La grandeur de l'angle de torsion est proportionnelle à l'intensité du courant.

On place l'instrument comme circuit de dérivation entre les deux points dont on veut déterminer la différence de tension. Si la résistance de l'instrument, y compris les fils conducteurs, est très grande en comparaison de celle de l'autre circuit, on peut admettre que lors de l'intercalation du circuit du galvanomètre, il n'y a de changement ni dans l'intensité du courant, ni dans la différence de tension entre les deux points où a lieu la dérivation. Si les fils conducteurs du galvanomètre sont gros et courts, leur influence peut être négligée et la différence de tension aux bornes de l'instrument peut être considérée comme la même que celle qui existe aux deux points de dérivation du circuit, aussi bien avant qu'après l'intercalation de l'instrument.

Si l'intensité de courant indiquée par l'instrument après sa mise dans le circuit =  $1/100$  ampère et si la résistance de l'instrument = 300 ohms, la différence de tension aux bornes s'élève, d'après la loi de Ohm, à  $V = 1/100 \times 300 = 3$  volts. De même, une intensité de courant de  $1/200$  ampère indique une tension aux bornes de 1,5 volt. On peut donc, d'après cela, trouver la valeur de la tension aux bornes correspondant à toute indication du galvanomètre. Si ces valeurs sont inscrites sur l'échelle de l'instrument, on donne à ce dernier, comme on l'a déjà dit, le nom de voltmètre. On peut en intercalant des résistances employer le voltmètre pour mesurer des tensions d'intensités quelconques.

Si, par exemple, un instrument d'une résistance de 1 ohm avec une échelle divisée en 170 parties de chacune 0,01 volt ne mesure que des tensions de 0,170 volt, on intercale, à l'aide d'une caisse de résistance, une résistance métallique de 9, de 99 ou de 999 ohms, afin d'obtenir une résistance totale de 10, de 100 ou de 1 000 ohms, dans lequel cas chaque division de l'échelle correspond à des tensions de 0,01, de 0,10 ou de 1 volt. On pourrait alors mesurer des tensions jusqu'à 170 volts. En intercalant une résistance supplémentaire de 9 999 ohms, on obtient une résistance totale de 10 000 ohms, de sorte qu'une division de l'échelle

correspond à 10 volts, dans lequel cas on peut mesurer les tensions jusqu'à 1 700 volts.

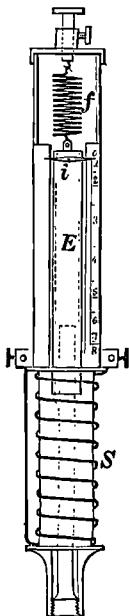


Fig. 756. — Ampèremètre à ressort de Kohlrausch.

L'intensité du courant est mesurée au moyen d'ampèremètres industriels. Parmi ces appareils, nous mentionnerons l'ampèremètre à ressort de KOHLRAUSCH et l'ampèremètre de DOLIVO-DOBROWOLSKY.

La disposition de l'ampèremètre à ressort de KOHLRAUSCH est mise en évidence par la figure 756. Au-dessus de la spirale S traversée par un courant, est suspendu un tube en fer E à un ressort en argentan f. Le tube en fer est muni d'un index i qui, lorsque le tube monte ou descend, se meut sur une échelle verticale. Lorsque le courant traverse la bobine, celle-ci tend à attirer à elle le tube E, tiré d'autre part par la force du ressort. Plus le courant est intense, plus bas descend le tube de fer.

L'ampèremètre de DOLIVO-DOBROWOLSKY est représenté par les figures 757 et 758. e est un noyau en fer du poids de 4 kilogrammes; il est fixé sur l'axe mobile c et suspendu, dans le bloc en laiton b, à un levier coudé chargé du poids régulateur d. Une partie du noyau en fer plonge dans la cavité longitudinale d'une bobine a, traversée par un courant. Celle-ci tend à faire descendre le noyau en fer d'autant plus bas que l'intensité du courant est plus grande. Lorsque le noyau descend, l'axe e tourne et avec lui l'index f, qui y est relié.

[Parmi les autres dispositifs employés pour la mesure de l'intensité et de la tension des courants, nous décrirons, par exemple, les appareils de DEPRES-CARPENTIER<sup>1</sup>.

L'ampèremètre de DEPRES-CARPENTIER consiste en un champ magnétique

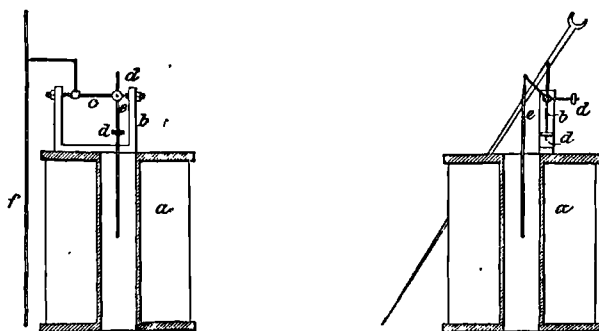


Fig. 757 et 758. — Ampèremètre de Dolivo-Dobrowolsky.

formé par deux aimants demi-circulaires AA' et BB' (fig. 759 et 760) aussi identiques que possible. Deux bobines C et D, traversées par le courant

<sup>1</sup> D'après AD. MINET, *Traité d'électro-chimie*, p. 85, Paris, CH. BÉRANGER, éditeur.



dont on veut déterminer l'intensité, sont disposées dans ce champ obliquement par rapport aux lignes de force intrapolaires ; à la partie centrale de ces deux bobines se trouve un petit barreau en fer doux pouvant tourner autour d'un axe, à l'extrémité duquel est fixée une aiguille arrêtée au zéro, quand l'appareil n'est traversé par aucun courant. Lorsqu'un courant passe, il modifie les lignes de force du champ magnétique et le

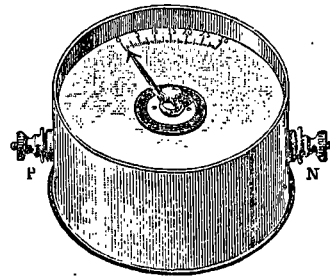
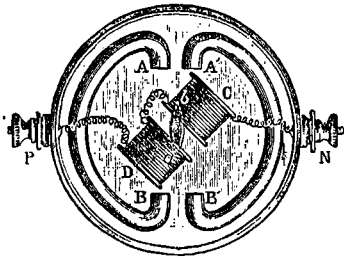


Fig. 759. — Ampèremètre de Deprez-Carpentier ; coupe horizontale. Fig. 760. — Ampèremètre de Deprez-Carpentier ; vue extérieure.

barreau en fer doux se déplace avec son aiguille, qui se meut sur une graduation en ampères et fractions d'ampère.

Le *voltmètre de DEPREZ-CARPENTIER* offre la même disposition que l'ampèremètre, avec cette différence que le fil des bobines C et D est très fin et par suite présente une grande résistance. Lorsqu'on veut mesurer une différence de potentiel à deux points donnés du circuit, on met le voltmètre en communication avec ces deux points par ses deux bornes et la différence de potentiel cherchée E est donnée par l'expression :

$$E = G \times i,$$

si G est la résistance galvanométrique et *i* l'intensité du courant traversant l'appareil et indiquée par l'aiguille.]

## II. — DISPOSITIFS ACCESSOIRES FONCTIONNANT INDÉPENDAMMENT DES DISPOSITIFS DE SÉPARATION

Ces dispositifs consistent surtout en appareils de préparation mécanique, appareils de transport et appareils de façonnage.

### 1. — Dispositifs de préparation mécanique.

Ils servent surtout pour le broyage, le lavage, le mélange et la séparation de corps métalliques, de fondants et de matériaux réfractaires.

#### A. — Appareils de broyage.

Ces appareils sont analogues à ceux dont le mineur se sert pour le broyage dans les ateliers de préparation mécanique, ou bien ils consistent

en moulins de formes extrêmement variées. Parmi les appareils de la première espèce, on emploie surtout des concasseurs, des cylindres et des bocards, et parmi les moulins : les moulins à meules verticales, les moulins à mortier, les moulins à boulets, les moulins à meules horizontales et les moulins centrifuges.

On concasse (ou granule) les métaux (argent, cuivre) en les versant à l'état fondu en un mince filet dans un vase contenant de l'eau.

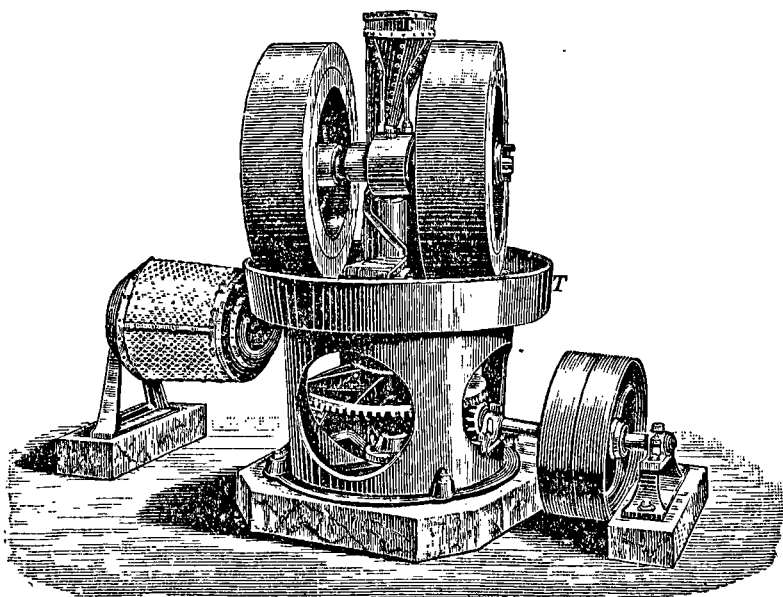


Fig. 761. — Moulin à meules verticales.

La disposition des concasseurs, des cylindres broyeurs et des bocards est décrite dans les ouvrages relatifs à la préparation mécanique <sup>1</sup>.

Dans le premier volume du *Traité de métallurgie* <sup>2</sup>, on trouvera dans les chapitres relatifs à l'amalgamation de l'argent et de l'or, la description détaillée des appareils de broyage et de broyage et d'amalgamation (arrastre, moulin de HUNTINGTON, moulin de CRAWFORD, etc.), qui sont employés pour l'amalgamation. Nous n'allons donc nous occuper dans les pages suivantes que de quelques-uns des moulins fréquemment employés.

Le moulin à meules verticales (fig. 761) se compose de deux rouleaux tournant autour d'un axe horizontal dans une cuvette en fer T. Ces rouleaux sont en pierres naturelles ou en fonte dure.

Les corps à pulvériser (les gros morceaux sont préalablement concassés dans des broyeurs) sont ordinairement chargés par une trémie, qui se

<sup>1</sup> Voy. C. LINKENBACH, *Traité de la préparation des minerais*, édition française par H. COUTROT, CH. BÉRANGER, Paris.

<sup>2</sup> C. SCHNADEL, *Traité de Métallurgie*, édition française par L. GAUTIER, CH. BÉRANGER, Paris.

trouve entre les rouleaux et tourne avec eux. Le produit de la pulvérisation est amené à l'aide d'un fer recourbé sur le bord de la cuvette T, d'où il tombe par une ouverture dans un tamis cylindrique. Les particules grossières sont séparées par ce dernier et elles tombent sur une chaîne à godets, par laquelle elles sont remontées dans la trémie.

Le moulin à mortier (fig. 762) se compose d'un mortier *a* sans fond,

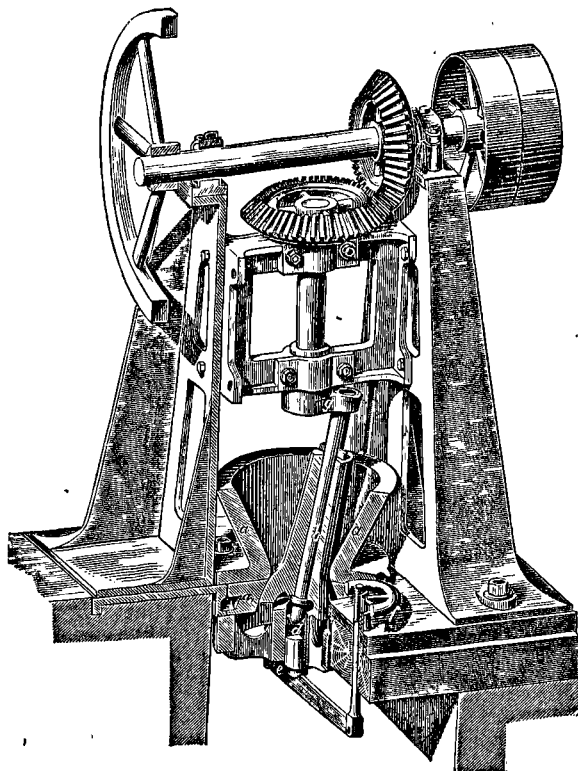


Fig. 762. — Moulin à mortier.

dans lequel se meut une tige de fer *b* en forme de massue. Le mouvement de celle-ci est tel que les morceaux de la matière à diviser, qui sont chargés dans le mortier par en haut, sont brisés dans la partie supérieure de celui-ci et finement moulus dans la partie inférieure. On l'emploie pour la pulvérisation des matières réfractaires, comme, par exemple, la dolomie, qui sert comme revêtement basique pour certains fours.

Les moulins à boulets sont des vases rotatifs, ordinairement cylindriques, qui renferment une certaine quantité de sphères métalliques. Ces dernières, lors de la rotation du cylindre, produisent la division des corps à pulvériser. On emploie ces appareils surtout pour la pulvérisation de minerais, de mattes (mattes de cuivre) et de scories (scories Thomas).

Un pareil moulin à boulets, avec alimentation et vidange continues, tel

qu'il est construit par la fabrique de GRUSON, à Magdebourg-Buckau, est représenté par les figures 763, 764 et 765. Il consiste en un cylindre rotatif horizontal tournant sur un axe horizontal. L'enveloppe de ce cylindre est formée de barreaux en fonte dure ou en acier *b* ou de plaques courbes,

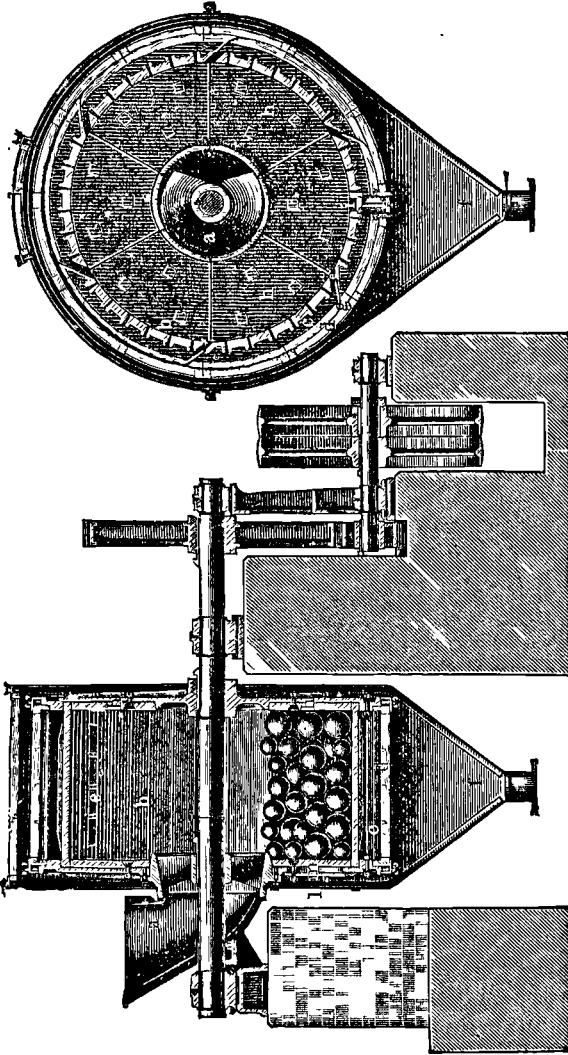


Fig. 764.

Fig. 763.

Fig. 763. — Moulin à boulets; coupe longitudinale.

Fig. 764. — Moulin à boulets; coupe transversale.

munies de trous ou de fentes. Les surfaces terminales du cylindre sont des plaques en fer doux, blindées sur leur côté interne avec des plaques de fonte duré. Elles sont reliées par des moyeux à l'arbre en acier, autour duquel tourne le cylindre. Dans ce dernier se trouvent des sphères en acier, par lesquelles sont pulvérisés les corps chargés dans l'appareil. Le cylindre, entouré d'un tamis cylindrique *c*, est en tôle d'acier perforée. Sur

DISPOSITIFS POUR L'EXTRACTION DES MÉTAUX

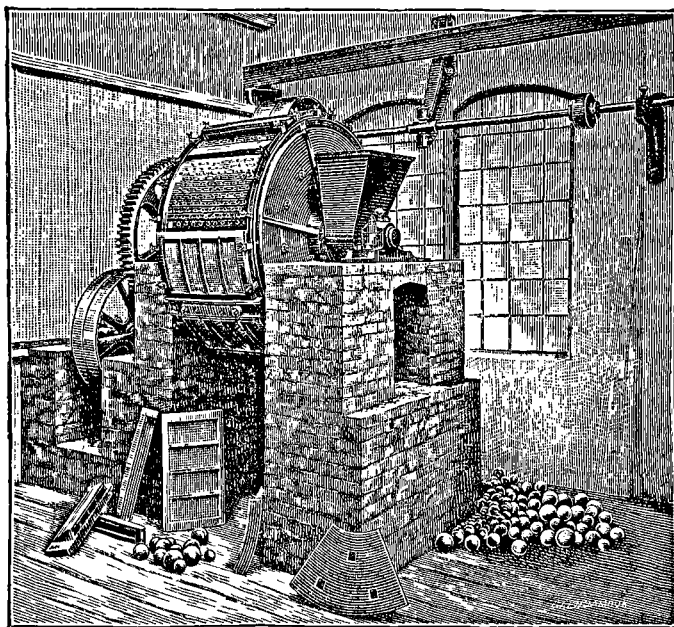


Fig. 765. — Moulin à boulets; vue extérieure.

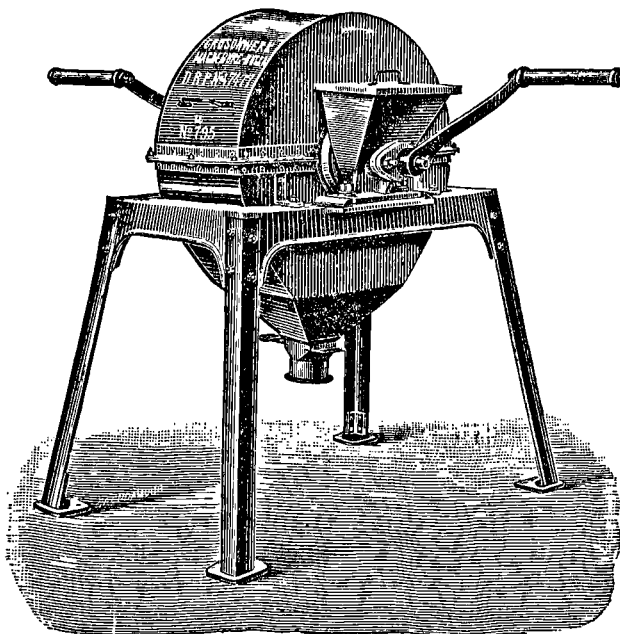


Fig. 766. — Moulin à boulets pour corps peu durs.

ce tamis tombent les corps pulvérisés traversant les intervalles entre les barreaux de l'enveloppe du cylindre ou les trous de celle-ci. Les particules grossières des corps pulvérisés restent sur le tamis, tandis que les particules fines, traversant ce dernier, tombent sur un tamis cylindrique *d* encore

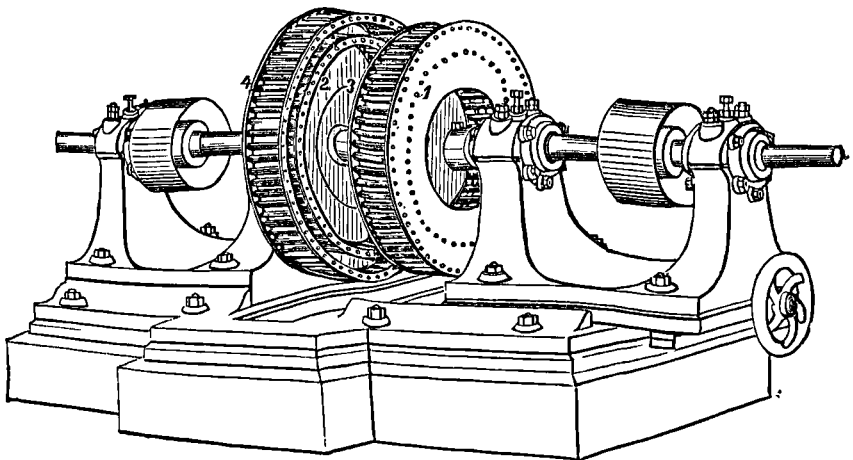
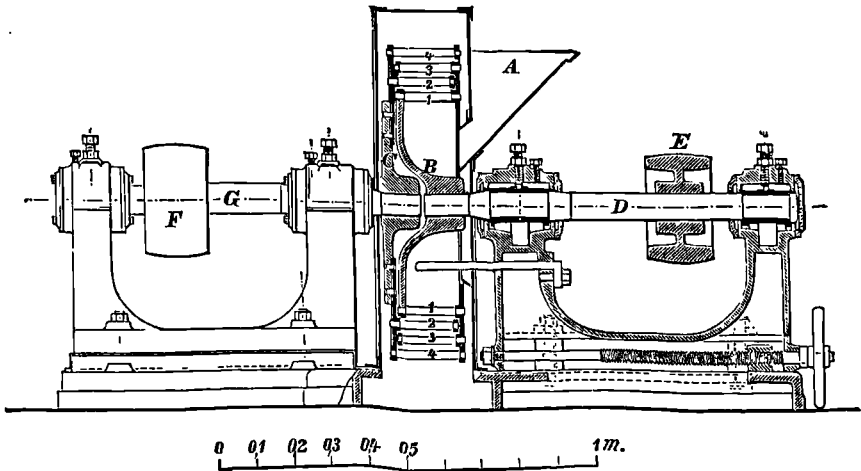


Fig. 767 et 768. — Moulin centrifuge (désintégrateur); coupe longitudinale et vue extérieure.

plus fin. Ce dernier est fait d'une toile métallique et il est disposé autour du tamis *c*. Du deuxième tamis, les particules les plus fines des corps pulvérisés tombent dans l'entonnoir *f*, qui forme la partie inférieure du manteau en tôle entourant le moulin. L'entonnoir est muni à son extrémité inférieure d'un *registre* pour l'évacuation du produit de la pulvérisation. Les particules grossières restées sur les tamis *c* et *d* sont amenées, au moyen des

palettes en tôle *g* passées à travers les tamis, dans les canaux *e* et de ces derniers elles retournent dans l'intérieur du cylindre, où elles sont de nouveau pulvérisées. Les canaux *e* sont ménagés dans les différents barreaux ou dans les plaques formant l'enveloppe du cylindre.

Les corps à pulvériser sont introduits dans l'appareil par la trémie *a* et une ouverture correspondante dans l'un des moyeux. Les rayons de ce moyeu sont disposés comme les hélices des navires, de sorte qu'ils agissent comme vis de transport et poussent dans le cylindre les corps chargés dans la trémie.

Un moulin à boulets pour corps n'offrant pas une grande dureté (charbon de bois, houille, calcaire, argile) est représenté par la figure 766 ; il peut être actionné à l'aide de courroies de transmission ou à la main.

Le moulin centrifuge (*désintégrateur*) se compose de deux cylindres concentriques autour du même axe, mais tournant en sens opposé et qui renferment plusieurs séries concentriques de baguettes de fer ou d'acier. La pulvérisation est produite par le mouvement rapide de celles-ci en sens inverse, c'est-à-dire par l'annulation subite de la force vive des masses à pulvériser se mouvant rapidement.

Dans les figures 767 et 768, A est la trémie d'alimentation, B et C sont les tambours placés l'un dans l'autre avec des baguettes alternantes, 1, 2, 3, 4. GD est l'axe de rotation ; E et F sont les poulies motrices.

#### B. — Appareils de lavage.

Les appareils pour le lavage des corps métallifères et des matériaux réfractaires sont les mêmes que ceux dont on se sert pour le lavage des minerais.

#### C. — Appareils pour le mélange des corps.

Comme appareils pour mélanger les corps, on emploie des malaxeurs, des moulins à pilons, des tonnes avec boulets.

Les malaxeurs sont surtout employés pour mélanger l'argile crue avec l'argile cuite, pour pétrir et découper l'argile. Il en a déjà été question précédemment (p. 337), à propos de la fabrication des briques réfractaires.

Les moulins à pilons sont analogues à ceux dont on se sert pour les minerais.

Les tonnes à boulets, comme celles qui sont employées pour la préparation des brasques, sont des tonnes rotatives partiellement remplies de sphères métalliques.

#### D. — Appareils de séparation.

Ces appareils sont semblables aux dispositifs de séparation qui sont employés dans les ateliers de préparation mécanique des minerais.

Ils consistent surtout en dispositifs de tamisage et de lavage de différentes formes.

## **2. — Dispositifs de transport.**

Ce sont les mêmes que ceux qui sont en usage dans toutes les autres branches de la grande industrie. Nous n'avons donc pas besoin de nous en occuper ici.

## **3. — Dispositifs de façonnage.**

Ces dispositifs servent à donner aux produits métallurgiques la forme convenable pour leur emploi industriel. A ces dispositifs appartiennent surtout les marteaux, les laminoirs et les presses.

La description de ceux qui sont destinés à façonner les différentes sortes de fer est donnée dans les ouvrages sur la métallurgie du fer, et celle des autres dispositifs se trouve dans les traités de technologie mécanique.

---



## CHAPITRE VII

### PRODUITS DE L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE

Les produits résultant du traitement des corps métallifères sont aussi bien des métaux et des combinaisons de ces derniers que des métalloïdes et leurs combinaisons. Ce sont des **produits finaux**, avec l'extraction desquels le but du procédé de séparation est atteint, ou des produits qui doivent encore être soumis à un autre traitement, avant de devenir des produits finaux et auxquels on donne le nom de **produits intermédiaires**, ou bien enfin des produits qui ont absorbé les éléments sans valeur des corps métallifères et qui ne trouvent un emploi utile que s'ils retiennent une certaine quantité de métaux ou offrent des propriétés particulières, mais qui autrement sont rejetés ; ces produits sont désignés sous le nom de **déchets**.

Les produits finaux qu'on nomme aussi *produits fins*, sont des produits dont l'extraction est le but proprement dit de la méthode de traitement mise en œuvre et auxquels on donne le nom de **produits principaux**, ou bien ce sont des produits qui sont obtenus en même temps que ces derniers, et que l'on appelle **produits secondaires**.

On désigne aussi les produits métallurgiques d'après les métaux dans l'extraction desquels ils sont formés, par exemple, produits métallurgiques plombifères, cuprifères, argentifères, etc., ou d'après le procédé de séparation qui leur donne naissance, par exemple, produits de la voie sèche, de la voie humide ou de la voie électrométallurgique ; produits de grillage, de fusion, de sublimation, de distillation.

#### I. — PRODUITS FINAUX

Les produits finaux des procédés de séparation sont des métaux, des alliages, des carbures et des siliciures métalliques, des oxydes et des sulfures métalliques, des sels métalliques, des métalloïdes et leurs combinaisons, ainsi que des combustibles gazeux (gaz des hauts fourneaux).

Parmi les **métaux**, nous mentionnerons : l'aluminium, l'antimoine, l'argent, l'arsenic, le bismuth, le cadmium, le cobalt, le cuivre, l'étain, le mercure, le nickel, l'or, le platine, le plomb et le zinc. Suivant le degré de leur pureté, on donne aux métaux les désignations de fins, de raffinés, d'affinés ou de bruts. On appelle *fins* les métaux précieux, or et argent, purifiés ; *raffinés* les autres métaux ; *affiné* le cuivre à un degré de pureté

déterminé (cuivre contenant du protoxyde de cuivre), *bruts* les métaux non encore dépouillés de corps étrangers.

Nous nommerons parmi les **alliages** : les alliages de l'aluminium, le plomb antimonieux ou plomb aigre, l'alliage de cuivre et de nickel, le métal dur (cuivre stanneux se produisant dans l'extraction du cuivre par le procédé anglais), le plomb stanneux.

Les **carbures** et les **siliciures métalliques** sont les produits de la métallurgie du fer, c'est-à-dire la fonte et le fer malléable.

Les **oxydes métalliques** qui se forment comme produits finaux sont l'acide arsénieux (verre d'arsenic blanc), l'oxyde de plomb (litharge), l'oxyde de zinc, ainsi que des mélanges d'oxyde de zinc et d'oxyde de plomb.

Les **sulfures métalliques** sont : le sulfure d'antimoine (antimoine cru), les sulfures d'arsenic et le cinabre.

Les **sels métalliques** sont : le sulfate de cuivre, le sulfate de fer et le sulfate de zinc.

Parmi les **métalloïdes**, on n'obtient dans les usines métallurgiques que le soufre et parmi ses combinaisons surtout l'acide sulfurique (acide des chambres, acide sulfurique anglais, acide sulfurique fumant, anhydride sulfurique), en outre, l'acide sulfureux liquide et dans des cas rares le sulfure de carbone.

Les **combustibles gazeux**, qui dans les usines métallurgiques sont obtenus comme produits secondaires, sont les gaz de gueulard des hauts fourneaux et de plusieurs autres fours à cuve, ainsi que les gaz perdus (c'est-à-dire les produits de combustion) d'un grand nombre de fours à réverbère.

Parmi les corps qui viennent d'être mentionnés, le cadmium, le soufre, l'acide sulfureux, l'acide sulfurique, le sulfate de fer, l'alun, le sulfate de zinc et les gaz de gueulard doivent être considérés comme des produits secondaires de l'industrie métallurgique. Quant aux autres corps, on les considérera ou non comme des produits secondaires, suivant leur quantité et leur valeur comparées à la quantité et à la valeur des produits obtenus en même temps qu'eux. Ainsi, l'acide arsénieux doit être considéré comme produit secondaire dans un grand nombre d'usines métallurgiques, tandis que dans d'autres il doit être regardé comme produit principal. Lors de l'extraction de l'argent du plomb argentifère au moyen du zinc, on obtient de l'oxyde de zinc et du zinc comme produits principaux.

Les produits finaux composés de l'industrie métallurgique, comme l'acide sulfurique, l'acide sulfureux, le vitriol, le plomb aigre, le verre d'arsenic, sont aussi nommés produits manufacturés.

## II. — PRODUITS INTERMÉDIAIRES

Les produits intermédiaires sont des *mélanges de métaux avec d'autres corps*; en outre, des *alliages*, des *arséniures* et des *antimoniures métalliques*, des *combinaisons des métaux avec un ou plusieurs des éléments*,

*carbone, silicium, phosphore, des oxydes métalliques, l'acide sulfureux et l'hydrogène sulfuré.*

Il a déjà été question dans le premier chapitre (p. 6) des *produits intermédiaires métallifères* considérés comme matière première de l'extraction des métaux.

L'*acide sulfureux* ne doit être considéré comme produit intermédiaire qu'autant qu'il est traité pour acide sulfurique dans les usines métallurgiques, et c'est ce qui a lieu ordinairement, lorsque la teneur des gaz en acide sulfureux s'élève à 4 volumes p. 100 au moins.

L'*hydrogène sulfuré*, qui se dégage lors du traitement par l'acide sulfurique de mattes cuivreuses contenant du sulfure de fer (afin de concentrer le sulfure de cuivre dans la matte), est traité pour soufre au moyen d'acide sulfureux et d'eau.

On doit en outre considérer comme produits intermédiaires les *scories oxydées* et les *déchets* dont la teneur en métal est assez élevée pour pouvoir être soumis à un traitement métallurgique, en vue de l'extraction du métal qu'ils renferment.

### III. — DÉCHETS

Les déchets les plus importants sont : les débris des fours, les crasses, les lousps, les résidus solides des fusions, les résidus des sublimations et des distillations, les poussières, les scories, les résidus solides des opérations par la voie humide, les résidus liquides des opérations par voie humide et par voie électrométallurgique, les gaz sans valeur ou se dégageant sans être utilisés.

#### Débris de fours.

Sous le nom de *débris de fours*, on désigne les dépôts qui se sont formés sur les parois des fours et les masses métalliques qui ont pénétré dans la maçonnerie de ces derniers. Ils prennent naissance soit par suite de l'adhérence et de la solidification de masses fondues sur les parois des fours, soit par suite de la pénétration de masses fondues dans la maçonnerie des fours, soit par suite du dépôt de corps volatils sur les parties les moins chaudes des fours. On nomme *cadmies* les dépôts de la dernière espèce, qui se forment dans le voisinage du gueulard des fours à cuve. Les débris qui ne sont pas formés de fragments de la maçonnerie des fours sont des métaux ou des combinaisons de ces derniers. Ainsi, ceux qui se sont produits dans les parties les plus froides des fours à cuve se composent surtout d'oxyde de zinc (calamine de fourneau), qui s'est formé par volatilisation de zinc et oxydation subséquente de ce métal, en outre de sulfure de plomb, qui se volatilise tel quel, de sulfate de plomb, qui a pris naissance par oxydation de sulfure de plomb à l'état de vapeur, et de sulfure de zinc, qui s'est formé par sulfuration de zinc volatilisé. Les combinaisons métalliques contenues dans les débris de fours sont fréquemment cristallisées, par exemple, le sulfure de plomb, le sulfure de zinc, l'acide arsénieux, le sulfate de plomb, l'oxyde d'antimoine.

Les cristaux se forment aussi bien par refroidissement lent des masses fondues, que par sublimation.

Comme on l'a dit, les débris de fours sont traités pour les métaux qu'ils renferment, lorsque leur teneur en ces derniers est suffisante.

#### Crasses.

On désigne sous ce nom des mélanges de scories, de produits intermédiaires, de métaux, de combustibles et de particules des matériaux entrant dans la construction des fours, et que l'on obtient lors du nettoyage de ces derniers. Les crasses sont ajoutées, directement ou après avoir été soumises à une préparation mécanique, au lit de fusion des opérations subséquentes, afin d'en extraire les métaux qu'elles renferment.

#### Loups.

Ces corps, qu'on nomme aussi cochons, ours, sont des masses de fer qui se forment contre la volonté du métallurgiste sur la sole des fours de fusion. Le fer est ordinairement carburé et allié ou mélangé avec d'autres métaux du lit de fusion. Les loups se produisent aussi bien par réduction de sesquioxyde de fer que par séparation de fer sulfuré. Ce dernier a, en effet, la propriété de dissoudre du fer métallique et de le laisser se séparer lorsque la température s'abaisse jusqu'à un certain degré.

- Les loups, si l'extraction du métal qu'ils renferment est rémunératrice, sont, après avoir été pulvérisés, ce qui fréquemment offre de grandes difficultés, soumis à un traitement métallurgique.

On désigne sous le nom de *scories dures (Härtlinge)* les alliages de fer et d'étain qui se forment dans l'extraction de ce dernier métal<sup>1</sup>.

#### Résidus solides des fusions.

On obtient ces résidus dans un grand nombre de procédés de fusion en fours à réverbère et dans les bas foyers. A ce groupe de déchets, appartiennent surtout les résidus de l'extraction du plomb de la galène par le procédé par grillage et réaction, ainsi que les résidus de la liquation du bismuth et du sulfure d'antimoine des roches qu'ils imprègnent. Les résidus de l'extraction du plomb, qui se composent de sulfate de plomb, d'oxyde de plomb, de plomb, de sulfure de plomb et des impuretés de la galène sont toujours assez riches en plomb pour qu'ils puissent être traités en vue de l'extraction de ce dernier.

#### Résidus de sublimation et de distillation.

On obtient des résidus de sublimation dans l'extraction de l'arsenic, des résidus de distillation dans l'extraction du zinc et du mercure. Ces résidus sont ordinairement rejetés. Des résidus de la séparation du zinc de minerais par distillation, on isole parfois les particules métallifères par scheidage manuel et on les traite pour zinc.

<sup>1</sup> C. SCHNABEL, *Traité de métallurgie*, t. II, p. 394.

### Poussières.

Les poussières se composent, comme on l'a déjà dit précédemment (p. 557), lors de la description des dispositifs pour les recueillir, de particules pulvérulentes du lit de fusion primitif des fours, de combustibles et de la cendre de ceux-ci, ainsi que de corps qui se sont formés aux dépens de métaux à l'état de vapeurs ou de leurs combinaisons et consistent surtout en les oxydes du plomb, du zinc, de l'antimoine et de l'arsenic, en sulfures métalliques et en sulfates (sulfate de plomb principalement).

Les poussières sont recueillies et rendues inoffensives comme on l'a indiqué précédemment et, si le traitement pour le métal qu'elles renferment est rémunérateur, on les traite seules ou avec d'autres corps métallifères.

### Scories.

On ne doit considérer comme de véritables déchets que les scories qui ne peuvent plus être traitées avantageusement pour le métal qu'elles renferment et ne peuvent pas non plus trouver emploi comme additions, fondants, etc. Les scories oxydées doivent être regardées comme des produits intermédiaires.

Relativement à leur composition et à leur degré de silicification, les scories ont été étudiées dans le premier chapitre (p. 11) et leur mode de formation et leurs propriétés ont été l'objet d'un examen détaillé dans le deuxième chapitre (p. 64).

Il ne nous reste donc plus ici qu'à parler de leur emploi.

Si les scories renferment des métaux utiles en quantité telle que l'extraction de ceux-ci semble avantageuse, elles sont traitées pour ces métaux séparément ou sous forme d'additions. Comme on l'a dit, les scories de cette espèce doivent être considérées comme des produits intermédiaires.

Que les scories contiennent ou non des métaux utiles, le métallurgiste les emploie également dans les fusions comme fondants, comme couverture pour protéger les métaux et les combinaisons métalliques séparés contre les influences oxydantes; on les mélange aussi avec des corps métallifères pulvérulents, afin de les rendre plus poreux. Certaines scories (scories de puddlage riches) sont employées pour la confection de la sole des fours à réverbère (fours à puddler). Les scories qui contiennent de grandes quantités d'*acide phosphorique* (scories de la fabrication du fer fondu d'après le procédé basique) servent pour la préparation au haut fourneau du fer phosphoreux. Ces scories ne doivent pas non plus être considérées comme des déchets, mais comme des additions ou des fondants, des matières pour la confection des soles, etc.

Les scories qui doivent être considérées comme des déchets trouvent emploi dans certains cas pour la préparation de pierres à bâtir, comme matières pour la construction des routes et des chemins de fer, pour la préparation du sable de scories, de la laine de scories, du ciment. Les scories contenant de l'*acide phosphorique* (scories phosphatées) prove-

nant de la préparation du fer fondu d'après le procédé basique, sont pulvérisées et employées comme engrais.

La préparation des *pierres à bâtir* est effectuée dans les usines métallurgiques mêmes. Dans ce but, les scories fluides sortant du four sont soumises à une forte pression dans les moules en fer ou bien elles sont granulées, puis la poudre obtenue est mélangée avec de la chaux et de l'eau et le mélange est fortement comprimé dans des moules à l'aide de machines. Les scories acides demeurant pendant longtemps à l'état pâteux sont seules convenables pour le premier mode de préparation. On retarde la solidification en incorporant du frasil de coke dans les scories fluides.

Les scories pierreuses à structure cristalline sont les plus convenables comme *matières pour la construction des routes*. Pour obtenir cette structure, si les scories ne sont pas cassantes, on les laisse couler et se solidifier dans les wagonnets à scories. Si au contraire les scories ont de la tendance à la fragilité, on les laisse refroidir lentement dans des fosses garnies de frasil de coke ou de poudre de scorie.

On prépare le *sable de scories* également dans les usines métallurgiques, en introduisant dans de l'eau les scories liquides (en les granulant) ou bien les bocardant. Dans ce dernier cas, on sépare en même temps des scories des hauts fourneaux dans lesquels est préparé la fonte grise de moulage, les grenailles de fer qu'elles renferment encore. On donne au fer ainsi obtenu le nom de *fer de bocage* ou de *lavage* (ou celui de *cline* dans certains pays). On emploie le sable de scories pour la préparation du mortier ou, mélangé avec de la chaux éteinte, pour préparer des briques.

On obtient la *laine de scorie*, en soumettant le laitier liquide des hauts fourneaux à fer s'écoulant en un mince filet à l'action d'un jet de vapeur ou d'air.

Pour la préparation du *ciment*, le laitier basique provenant de la fabrication de la fonte est réduit en une poudre fine et mélangé avec de la chaux éteinte, après quoi le mélange est cuit (ciment de pouzzolane de scories).

#### Résidus solides des opérations par la voie humide.

Si l'extraction des métaux que renferment ces résidus n'est plus rémunératrice, on les rejette.

#### Résidus liquides des opérations par la voie humide.

Si ces résidus ne sont pas employés pour la lixiviation, pour rendre solubles des combinaisons métalliques, pour le grillage sulfatisant, pour agglomérer des schlichs, pour préparer des sels solides, on les rejette également tels quels ou après les avoir rendus inoffensifs.

#### Résidus liquides des opérations électrométallurgiques.

Ces résidus sont traités pour sels ou pour les métaux qu'ils renferment.

**Gaz sans valeur.**

On les laisse se dégager dans l'air, lorsqu'ils n'exercent aucune action nuisible sur les organismes animaux et végétaux. Parmi ces gaz, nous citerons surtout les produits gazeux de la combustion, de la calcination de carbonates, de la réduction d'oxydes métalliques à l'aide de charbon et d'oxyde de carbone.

Si les gaz ont une fâcheuse influence sur les organismes animaux ou végétaux, comme l'acide sulfureux, l'acide sulfurique à l'état de vapeurs, l'hydrogène sulfuré, l'acide chlorhydrique, le chlore, ils doivent, dans les pays cultivés, être rendus inoffensifs. On doit traiter dans ce but non seulement les gaz sans valeur, c'est-à-dire les gaz qui contiennent les éléments nuisibles en si faible quantité que leur utilisation n'est pas rémunératrice, mais encore ceux qui à cause de leur teneur élevée en la substance en question peuvent être utilisés. Ordinairement, on cherche à rendre ces gaz inoffensifs, tout en les utilisant le mieux possible.

---





# TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION . . . . .	I
------------------------	---

## CHAPITRE PREMIER

### CORPS DESQUELS LES MÉTAUX SONT EXTRAITS

<b>1. Combinaisons métalliques qui se rencontrent dans la nature ou minerais . . . . .</b>	<b>3</b>
Composition chimique, 4. — Préparation, 5. — Dénomination, 6.	
<b>2. Combinaisons artificielles des métaux. . . . .</b>	<b>6</b>
Métaux, 7. — Alliages, 7. — Oxydes, 7. — Sulfures métalliques, 8. — Arséniures et antimoniures métalliques, 9. — Sels halogénés, 10. — Carbures métalliques, 10. — Phosphures métalliques, 10. — Siliciures métalliques, 10. — Oxydes des métaux, 11. — Sulfates, arsénates, antimonates, silicates, 11. — Déchets métallifères de l'industrie, 14.	
<b>3. Achat des corps métallifères par les usines . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>4. Préparation mécanique préliminaire des corps métallifères avant leur traitement. . . . .</b>	<b>14</b>
A. Opérations ayant pour objet de donner aux corps métallifères la forme convenable pour le procédé de séparation. . . . .	15
B. Séparation de certaines matières solides mélangées aux corps métallifères.	15
C. Élimination de l'eau adhérente aux corps métallifères. . . . .	16
D. Mélange de corps métallifères de teneurs différentes en un seul et même métal . . . . .	16
E. Mélange des corps métallifères avec des corps qui produisent ou favorisent la séparation des métaux qu'ils renferment . . . . .	16

## CHAPITRE II

### PROCÉDÉS USITÉS POUR LA SÉPARATION DES MÉTAUX DES CORPS MÉTALLIFÈRES

<b>I. — PROCÉDÉS USITÉS POUR LA SÉPARATION DES MÉTAUX EN GÉNÉRAL.</b>	<b>19</b>
<b>1. Procédés par voie sèche . . . . .</b>	<b>20</b>
A. Calcination . . . . .	21
B. Fusion. . . . .	23
C. Vaporisation. . . . .	28
<b>2. Procédés par voie humide. . . . .</b>	<b>30</b>

A. Procédés de la voie humide dans le sens restreint. . . . .	30
B. Procédés par amalgamation . . . . .	32
<b>3. Procédés par voie électrométallurgique . . . . .</b>	<b>33</b>
<i>Procédés électrométallurgiques par voie sèche . . . . .</i>	<i>34</i>
<i>Procédés électrométallurgiques par voie humide . . . . .</i>	<i>35</i>
Avec anodes insolubles, 35. — Avec anodes solubles, 36.	
<b>II. — PROCÉDÉS MÉTALLURGIQUES D'UNE IMPORTANCE PARTICULIÈRE POUR LE MÉTALLURGISTE . . . . .</b>	<b>37</b>
<b>1. Grillage oxydant des sulfures, arséniures et antimoniures métalliques. . . . .</b>	<b>38</b>
A. <i>Grillage oxydant des sulfures métalliques . . . . .</i>	<i>38</i>
Grillage oxydant au moyen de l'air, 38. — Manière dont se comportent au grillage les différents sulfures métalliques, 39. — Formation de sulfates par grillage oxydant, 41. — Grillage pour noyaux, 43. — Remplacement du grillage oxydant des sulfures métalliques par leur fusion oxydante, 44. — Grillage oxydant au moyen de vapeur d'eau, 44.	
B. <i>Grillage oxydant des combinaisons de l'arsenic . . . . .</i>	<i>45</i>
C. <i>Grillage oxydant des combinaisons de l'antimoine. . . . .</i>	<i>47</i>
<b>2. Grillage chlorurant des sulfures, arséniures et antimoniures métalliques. . . . .</b>	<b>48</b>
A. <i>Grillage chlorurant des sulfures métalliques . . . . .</i>	<i>48</i>
B. <i>Grillage chlorurant des arséniures et antimoniures métalliques. . . . .</i>	<i>50</i>
<b>3. Réduction des oxydes métalliques . . . . .</b>	<b>50</b>
A. <i>Séparation des métaux des oxydes par voie sèche . . . . .</i>	<i>51</i>
Réduction des oxydes par chauffage simple, 51. — Réduction des oxydes par chauffage avec des corps réducteurs, 51. — Différents agents de réduction, 52.	
B. <i>Réduction des oxydes par le courant électrique. . . . .</i>	<i>56</i>
C. <i>Séparation des métaux des oxydes métalliques par les voies sèche et humide réunies . . . . .</i>	<i>56</i>
<b>4. Séparation des métaux des sulfures métalliques . . . . .</b>	<b>57</b>
A. <i>Séparation des sulfures métalliques par voie sèche . . . . .</i>	<i>57</i>
<i>Séparation directe des métaux des sulfures métalliques . . . . .</i>	<i></i>
Par chauffage des sulfures à l'abri de l'air, 57. — Par chauffage des sulfures au contact de l'air, 58. — Par chauffage des sulfures avec certains métaux, 58. — Par chauffage des sulfures avec des oxydes métalliques, 59. — Par chauffage des sulfures avec des sels métalliques, 59. — Par le courant électrique, 60.	
<i>Séparation indirecte des métaux des sulfures métalliques . . . . .</i>	<i>60</i>
B. <i>Séparation des sulfures métalliques par voie sèche et voie humide réunies. . . . .</i>	<i>61</i>
C. <i>Séparation des métaux des sulfures métalliques par voie électrométallurgique. . . . .</i>	<i>63</i>
<b>5. Scorification des corps sans valeur dans les opérations de fusion. . . . .</b>	<b>63</b>
<i>Scories silicatées . . . . .</i>	<i>64</i>
Fusibilité des scories, 65. — Fluidité et mode de solidification des scories, 67. — Structure des scories, 68. — Couleur des scories, 69. — Poids spécifique des scories, 69. — Manière dont se comportent le spath fluor, les sulfures métalliques, le spath pesant et le gypse dans la formation des scories, 69. — Scories oxydées, 70.	

## CHAPITRE III

CORPS A L'AIDE DESQUELS LA SÉPARATION DES MÉTAUX EST PRODUITE  
OU FAVORISÉE

I. — CORPS QUI SONT EMPLOYÉS DANS LES PROCÉDÉS PAR VOIE SÈCHE . . .	71
1. Dans les procédés par calcination . . . . .	71
Agents d'oxydation, 71. — Agents de réduction, 72. — Agents de chloruration, 72. — Agents de carburation, 72.	
2. Dans les procédés par fusion . . . . .	72
Agents d'oxydation, 73. — Agents de réduction, 73. — Agents de réaction, 73. — Agents de précipitation, 74. — Agents de sulfuration, 74. — Agents d'arsénification, 74. — Agents de chloruration, 74. — Agents de carburation, 74. — Agents de dissolution, 74. — Agents de scorification, 75. — Agents de désagrégation, 76. — Agents de décomposition pour les alliages, 76. — Agents de décomposition pour les sels, 76.	
3. Dans les procédés par vaporisation . . . . .	77
Agents d'oxydation, 77. — Agents de réduction, 77. — Agents de précipitation, 77. — Agents de sulfuration ou d'arsénification, 77. — Agents de décomposition par les sels, 77.	
II. — CORPS QUI SONT EMPLOYÉS DANS LES PROCÉDÉS PAR VOIE HUMIDE. . .	77
1. Dans les procédés par voie humide dans le sens restreint . . . . .	77
A. Agents auxiliaires pour la dissolution . . . . .	78
B. Dissolvants . . . . .	78
C. Agents destinés à préparer les dissolutions pour la précipitation. . . . .	78
D. Agents de précipitation. . . . .	79
2. Dans les procédés par amalgamation. . . . .	79
A. Agents à l'aide desquels les combinaisons métalliques sont transformées en métaux . . . . .	79
B. Agent d'amalgamation . . . . .	80
III. — CORPS QUI SONT EMPLOYÉS DANS LES PROCÉDÉS ÉLECTROMÉTALLURGIQUES . . . . .	80

## CHAPITRE IV

## PRODUCTION DE LA CHALEUR NÉCESSAIRE POUR L'EXTRACTION DES MÉTAUX

I. — PRODUCTION DE LA CHALEUR PAR DES PROCESSUS CHIMIQUES . . . . .	81
1. Combustion. . . . .	82
Combustion des combustibles qui forment des éléments des corps métallifères, 82. — Combustion des combustibles proprement dits, 82. — Températures auxquelles a lieu la combustion, 83. — Combustion avec flamme et sans flamme, 84. — Combustion complète et incomplète, 85.	
2. Chaleur dégagée pendant la combustion. . . . .	86
A. Chaleur de combustion . . . . .	86
Détermination de la chaleur de combustion au moyen du calorimètre, 87. — Calorimètre de Fischer, 88. — Bombe calorimétrique de Berthelot, 89. — Bombe calorimétrique de Malher, 91. — Calcul de la chaleur de combustion d'après la composition élémentaire des combustibles, 95. — Détermination de la chaleur de combustion d'après la méthode de Berthier, 97.	
B. Température de combustion . . . . .	98

Détermination de la température de combustion par le calcul, 99. — Par mesure, 102. — Pyromètres basés sur les changements de dimension de corps solides, 102. — Pyromètres métalliques, 103. — Pyromètres à graphite, 104. — Pyromètres basés sur la dilatation de liquides, 103. — Thermomètre à mercure, 105. — Pyromètres basés sur la dilatation de gaz, 105. — Pyromètre à air, 105. — Pyromètre de Wiborgh, 107. — Pyromètre basés sur la variation de la tension de la vapeur de certains corps avec la température, 110. — Pyromètres basés sur le point de fusion de corps solides, 110. — Pyromètres basés sur la dissociation de certains corps, 115. — Pyromètres basés sur des phénomènes optiques, 115. — Lunette pyrométrique de Mesuré et Nouel, 115. — Pyromètre optique de Le Châtelier, 117. — Pyromètre optique de Wanner, 119. — Pyromètre de Fery, 121. — Pyromètres basés sur des phénomènes acoustiques, 124. — Thermophone de Wiborgh, 124. — Pyromètres basés sur l'électricité, 124. — Pyromètre à résistance de Siemens, 124. — Pyromètre thermo-électrique de Siemens, 127. Pyromètre thermo-électrique de Le Châtelier, 128. — Pyromètres basés sur la transmission de la chaleur à des liquides, 133. — Calorimètre de Fischer, 134. — Calorimètre de Weinhold, 135. — Calorimètre de Salleron-Démichel, 136.		
<b>3 Combustibles proprement dits.</b>		<b>136</b>
A. <i>Combustibles naturels</i>		136
a. <i>Combustibles solides.</i>		137
<b>Bois</b>		<b>138</b>
Classification des bois, 138. — Composition immédiate des bois, 138. — Fibre ligneuse ou cellulose, 138. — Matière incrustante, 139. — Eau hygroscopique, 140. — Composition élémentaire du bois, 141. — Poids spécifique, 141. — Combustibilité, 142. — Effet calorifique absolu, 142. — Température de combustion, 143. — Abatage et préparation du bois, 143. — Torréfaction du bois, 143.		
<b>Tourbe</b>		<b>144</b>
Tourbières, 145. — Tourbières hautes, 145. — Tourbières basses, 145. — Tourbières mixtes, 146. — Composition de la tourbe, 147. — Poids spécifique, 149. — Température d'inflammation, 150. — Chaleur de combustion. 150. — Dessiccation et torréfaction de la tourbe, 152		
<b>Lignite</b>		<b>152</b>
Classification des lignites, 152. — Composition, 154. — Poids spécifique, 155. — Chaleur de combustion, 155. — Préparation préliminaire, 155. — Préparation des briquettes de lignite, 150. — Dessiccation du charbon menu, 157. — Fours à plateaux et à gaz de foyers, 158. — Fours à air chaud, 159. — Fours à plateaux et à vapeur, 160. — Presse à briquettes, 165.		
<b>Houille</b>		<b>166</b>
Composition, 166. — Poids spécifique, 167. — Manière dont se comportent les houilles lorsqu'on les chauffe à l'abri du contact de l'air, 168. — Manière dont se comportent les houilles conservées à l'air, 169. — Chaleur de combustion, 169. — Classification des houilles, 170. — Préparation préliminaire des houilles, 173. — Préparation des briquettes de houille, 173. — Four de Heim, 173. — Presse de Couffinhall, 175.		
b. <i>Combustibles liquides.</i>		177
c. <i>Combustibles gazeux.</i>		178
<b>B. Combustibles artificiels</b>		<b>178</b>
a. <i>Combustibles artificiels solides</i>		179
<b>Charbon de bois</b>		<b>179</b>
Composition, 180. — Poids spécifique, 180. — Conductibilité, 181. — Chaleur de combustion, 181. — Emploi du charbon de bois, 181. — Préparation du charbon de bois, 181. — Carbonisation dans laquelle la fabrication du charbon de bois est le but principal, 182. — Carbonisation en meules, 182.		

— Construction des meules, 184. — Préparation de l'aire, 184. — Erection de la meule, 185. — Erection de la meule horizontale, 186. — Revêtement des meules, 186. — Conduite de la carbonisation, 187. — Carbonisation en tas, 189. — Carbonisation en fosses, 192. — Carbonisation en fours, 192. — Fours-meules, 192. — Fours de carbonisation, 194. — Carbonisation dans laquelle la fabrication de charbon de bois et l'extraction des produits de la distillation forment le but principal, 194. — Carbonisation dans des cornues, 194. — Carbonisation dans les fours-meules, 195. — Carbonisation dans laquelle le but principal est l'obtention de produits de distillation, 196.	
<b>Charbon de tourbe</b> . . . . .	197
Préparation du charbon de tourbe, 197. — Carbonisation en meules et en tas, 197. — Carbonisation en fours, 198. — Carbonisation en cornues, 198.	
<b>Coke de lignite</b> . . . . .	199
<b>Coke de houille ou coke proprement dit</b> . . . . .	199
Composition, 200. — Poids spécifique, 200. — Combustibilité, 202. — Chaleur de combustion, 202. — Caractères des houilles à coke, 202. — Fabrication du coke, 204. — Carbonisation avec accès de l'air, 204. — Carbonisation en meules et en tas, 205. — Carbonisation en stalles, 205. — Carbonisation en fours, 207. — Carbonisation à l'abri du contact de l'air, 208. — Fours à travail intermittent, 209. — Fours verticaux, 210. — Four Appolt, 210. — Fours horizontaux, 213. — Fours avec carneaux verticaux, 215. — Four de François Rexroth, 215. — Four de Coppée, 216. — Four Coppée-Otto, 218. — Four Coppée permettant de recueillir le goudron, l'ammoniaque et le benzène, 219. — Four Hoffmann-Otto perfectionné, 221. — Nouveau four Otto, 223. — Fours avec carneaux horizontaux, 224. — Four de Haldy, 224. — Four de Smet, 224. — Four de Wintzeck, 225. — Four de Carvès, 226. — Four de Carvès-Hüssener, 227. — Four de Fenster-Hoffmann, 229. — Four de Smet-Solvay, 229. — Fours à coke à travail continu, 229. — Extraction du goudron, de l'ammoniaque et du benzène des gaz des fours à coke, 231.	
<i>b. Combustibles artificiels liquides</i> . . . . .	237
<i>c. Combustibles artificiels gazeux</i> . . . . .	237
<b>Gaz de carbonisation</b> . . . . .	238
<b>Gaz de gazogènes</b> . . . . .	239
Dispositifs pour la préparation du gaz de gazogènes, 241. — Gazogène de Siemens, 243. — Gazogène de Boëtius, 244. — Gazogène de Bicheroux, 244. — Gazogène soufflé, 245. — Gazogène de Gröbe-Lürmann, 246.	
<b>Gaz de gueulard</b> . . . . .	248
<b>Gazéification du carbone par l'acide carbonique</b> . . . . .	250
<b>Gaz à l'eau</b> . . . . .	251
Disposition des gazogènes pour la fabrication du gaz à l'eau, 253. — Appareil de Dellwik, 254.	
<b>Gaz mixte</b> . . . . .	256
Appareil de Taylor, 257. — Appareil de Fichet et Heurtey, 258.	
<b>Gaz Riché</b> . . . . .	259
Gazogène de Riché, 260. — Gazogène auto-réducteur à double combustion, 262.	
<b>4. Emploi des combustibles</b> . . . . .	262
<i>A. Appareils pour la combustion</i> . . . . .	263
<i>a. Combustion des combustibles solides</i> . . . . .	263
<b>Combustion des combustibles solides dans des foyers particuliers</b> . . . . .	263

Foyers à grille, 263. — Grille plane, 264. — Formation de la fumée, 266. — Chauffage au demi-gaz, 267. — Grille à gradins, 267. — Grilles à étages, 268. — Foyer à flamme renversée, 269. — Foyer à grille pour combustibles à grains fins, 270. — Foyers sans grille, 271. — Foyers pour poussière de charbon, 271.	
<b>Combustion de combustibles solides sans foyer particulier. . . . .</b>	<b>272</b>
<i>b. Dispositifs pour la combustion des combustibles liquides. . . . .</i>	<i>273</i>
Procédé par pulvérisation, 274. — Appareil de Lenz, 274. — Appareil de Brandt, 274. — Appareil de Tentelw, 275. — Dispositif de Nobel, 275.	
<i>c. Dispositifs pour la combustion des combustibles gazeiformes. . . . .</i>	<i>276</i>
Chauffage des gaz et de l'air de combustion, 277. — Four de Boëtius, 278. — Four de Bicheroux, 279. — Dispositifs avec régénérateurs, 279. — Appareil de Siemens, 280. — Four de Pütsch, 284. — Fours à récupérateurs, 285. — Four de Ponsard, 286. — Récupérateur de Lencauchez, 288. — Récupérateur de Daclen et Blezinger, 286. — Dispositifs de chauffage pour le gaz à l'eau, 289. — Dispositifs de chauffage aux hydrocarbures, 290. — Chauffage par les vapeurs de combustibles liquides, 290.	
<i>B. Dispositifs à l'aide desquels l'air est amené au combustible et les produits gazeux de la combustion sont entraînés . . . . .</i>	<i>291</i>
Cheminées, 291.	
<b>Contrôle des fours et des foyers. . . . .</b>	<b>293</b>
<b>Aluminothermie. . . . .</b>	<b>296</b>
<b>II. — PRODUCTION DE LA CHALEUR PAR LE COURANT ÉLECTRIQUE . . . . .</b>	<b>298</b>

## CHAPITRE V

## PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ NÉCESSAIRE POUR L'EXTRACTION DES MÉTAUX

<b>I — NOTIONS SUR LE COURANT ÉLECTRIQUE . . . . .</b>	<b>301</b>
Conduction de l'électricité, 301. — Résistance électrique, 302. — Intensité de courant, 302. — Force électro-motrice, 303. — Potentiel, 303. — Loi de Ohm, 303. — Énergie électrique, 303. — Équivalent électrique de la chaleur, 304. — Équivalent électro-mécanique, 305. — Tonalité thermique, 305. — Loi de Faraday, 307. — Loi de Joule, 308.	
<b>II. — PRODUCTION DU COURANT . . . . .</b>	<b>308</b>
Induction magnétique, 308. — Machines dynamo-électriques, 310. — Machines à excitation en série, 311. — Machines à excitation dérivée, 313. — Machines à enroulement mixte, 313.	
<b>III. — THÉORIE DE L'ÉLECTROLYSE . . . . .</b>	<b>314</b>
Pression osmotique, 315. — Théorie d'Arrhénius, 315. — Intensité d'adhésion, 316. — Conductibilité moléculaire, 317. — Conductibilité équivalente, 317. — Loi des vitesses de transport indépendantes, 317. — Pression de dissolution électrolytique, 319. — Définition de l'électrolyse, 320. — Loi de Faraday, 320. — Équivalents électro-chimiques, 321. — Polarisation, 323. — Densité de courant, 324. — Résistance au passage de l'électricité, 324.	
<b>IV. — PRATIQUES DES OPÉRATIONS ÉLECTROMÉTALLURGIQUES. . . . .</b>	<b>325</b>

## CHAPITRE VI

## DISPOSITIFS POUR L'EXTRACTION DES MÉTAUX

<b>I. — DISPOSITIFS DE SÉPARATION ET LEURS ACCESSOIRES. . . . .</b>	<b>327</b>
1. Dispositifs de séparation pour la voie sèche. . . . .	328

<b>A. Fours . . . . .</b>	<b>328</b>
Matériaux employés pour la construction des fours, 328. — Matières réfractaires, 329. — Matières réfractaires avec acide silicique comme élément essentiel, 331. — Matières réfractaires avec alumine comme élément essentiel, 332. — Matières réfractaires avec chaux ou magnésie comme éléments essentiels, 332. — Matières réfractaires avec oxydes du fer comme éléments essentiels, 333. — Matières réfractaires avec silicates comme éléments essentiels, 334. — Matières réfractaires avec carbone comme élément essentiel, 340. — Mortier pour les briques réfractaires, 340. — Matières réfractaires consistant en métaux ou alliages, 340.	
<b>Disposition générale des fours . . . . .</b>	<b>340</b>
<b>Classification des fours . . . . .</b>	<b>341</b>
I. <i>Fours dans lesquels la chaleur est produite par combustion de combustibles.</i>	341
a. <i>Fours dans lesquels le chauffage a lieu par contact immédiat des corps à chauffer avec des combustibles solides ou liquides . . . . .</i>	342
α. <b>Fours avec chauffage par des combustibles solides . . . . .</b>	<b>342</b>
<b>Fours-tas . . . . .</b>	<b>342</b>
Tas, 343. — Stalles, 346.	
<b>Bas foyers . . . . .</b>	<b>351</b>
Bas foyers sans soufflerie, 351. — Bas foyers soufflés, 352. — Four à réchauffer pour acier, 352. — Feu d'affinerie, 353. — Bas foyers pour l'extraction du plomb, 354. — Bas foyer à plomb écossais, 354. — Bas foyer à plomb américain avec refroidissement par l'air, 355. — Petit foyer pour l'affinage du cuivre, 355. — Foyer de Wetherill, 356.	
<b>Fours à cuve . . . . .</b>	<b>357</b>
Forme des fours à cuve, 357. — Combustibles, 358. — Classification des fours à cuve, 358.	
<b>Fours à cuve pour calcinations . . . . .</b>	<b>358</b>
<b>Fours chauffés au moyen de combustible étranger . . . . .</b>	<b>359</b>
Fours pour le chauffage de corps métallifères en morceaux, 359. — Fours pour le chauffage de corps métallifères pulvérulents, 363.	
<b>Fours chauffés par les combustibles contenus dans les corps métallifères . . . . .</b>	<b>364</b>
Fours de grillage pour corps métallifères en morceaux, 364. — Brûleurs à pyrites, 365. — Kilns, 367. — Fours de grillage pour sulfures métalliques pulvérulents, 368. — Four de Gerstenhöfer, 368. — Four d'Hasenclever et Helbig, 371. — Four d'Ollivier et Perret, 373. — Four de Malétra, 374. — Four de Spence. — Four de Herreshof, 378.	
<b>Fours à cuve pour les fusions . . . . .</b>	<b>379</b>
Disposition de la partie inférieure des fours, 380. — Fours à rigole, 381. — Fours à creuset, 385. — Fours à bassin ou à avant-creuset, 389. — Structure des fours à cuve de fusion, 392. — Hauteur des fours à cuve de fusion, 395. — Introduction du vent dans le four, 396. — Exemples de différentes sortes de fours à cuve de fusion, 397. — Fours à cuve à tirage, 397. — Fours à cuve à soufflerie ou fours à cuve soufflés, 401. — Fours à cuve avec muraillement, 401. — Fours à cuve sans muraillement, 405. — Fours à cuve avec parois métalliques, 408. — Conduite des fours à cuve de fusion, 409. — Séchage ou fumage des fours, 409. — Mise en marche des fours, 410. — Chargement, 411. — Chargement horizontal, 413. — Chargement vertical, 416. — Fusion avec un nez, 417. — Extraction des fours des produits de la fusion, 418. — Nettoyage de la sole, 419. — Marche des fours, 419. — Fusion avec gueulard clair ou avec gueulard sombre, 420. — Arrêt temporaire des fours, 420. — Mise hors feu des fours, 420.	
<b>Fours à cuve pour les opérations de vaporisation . . . . .</b>	<b>421</b>

<b>β. Fours avec chauffage par les combustibles liquides . . . . .</b>	<b>422</b>
Convertisseur Bessemer, 422. — Convertisseur suédois, 422. — Convertisseur pour cuivre, 424.	
b. <i>Fours à flamme</i> . . . . .	426
<b>α. Fours à flamme à cuve . . . . .</b>	<b>426</b>
<b>Fours à flamme à cuve pour les opérations de calcination . . . . .</b>	<b>428</b>
Fours à flamme à cuve pour le chauffage des corps en morceaux, 428. — Fours avec foyers à grille, 428. — Fours avec chauffage au gaz, 429. — Fours pour corps métallifères pulvérulents, 432.	
<b>Fours à flamme à cuve pour les opérations de fusion . . . . .</b>	<b>434</b>
<b>Fours à flamme à cuve pour les opérations de vaporisation. . . . .</b>	<b>434</b>
Fours pour minerais en morceaux, 434. — Fours pour minerais menus, 435. — Four à granzita, 435. — Four à terras, 436. — Four de Czermak-Spirek, 436. — Four à sole inclinée de Livermoore, 436.	
<b>β. Fours à flamme à sole ou fours à réverbère . . . . .</b>	<b>437</b>
<i>Dispositif de chauffage</i> . . . . .	438
<i>Laboratoire</i> . . . . .	440
Laboratoires fixes, 440. — Laboratoires dont, pendant le travail, une partie est fixe, l'autre étant en mouvement, 443. — Laboratoires en mouvement pendant le travail, 444.	
<i>Dispositifs pour l'entraînement des produits gazeux de la combustion et des autres gaz et vapeurs dégagés pendant le chauffage</i> . . . . .	444
<i>Classification des fours à réverbère</i> . . . . .	445
<b>Fours à réverbère pour calcinations . . . . .</b>	<b>445</b>
Fours à laboratoire fixe, 445. — Fours de grillage, 445. — A travail manuel, 446. — Four anglais pour le grillage de la galène, 446. — Four à pelletage continu, 447. — Fours à travail mécanique, 450. — Four de Parkes, 450. — Four de Pearce, 451. — Four de Ropp, 453. — Four de Keller-Gaylord-Cole, 454. — Four en fer à cheval de Brown, 457. — Four à souder, 458. — Four à réchauffer, 461. — Four à laboratoire partiellement mobile, 461. — Four de Brunton, 463. — Four de Gibbs et Gelstharp, 465. — Four de la Société des usines à plomb et argent d'Ems, 465. — Fours à laboratoire mobile, 467. — Four de Brückner, 467. — Four de White, 468. — Four d'Hocking-Oxland, 469.	
<b>Fours à réverbère pour fusions. . . . .</b>	<b>471</b>
Fours avec laboratoire fixe, 471. — Avec foyer à grille, 471. — Avec laboratoire incliné, 473. — Four à plomb carinthien, 473. — Four à liquation de Przibram, 474. — Four à liquation de Freiberg, 475. — Fours à laboratoire horizontal, 475. — Four à puddler, 475. — Four pour la raffinerie du cuivre, 477. — Four pour le raffinage du plomb, 477. — Four pour le raffinage de l'argent, 478. — Four de coupellation allemand, 478. — Four de coupellation anglais, 479. — Four de coupellation américain, 481. — Four anglais pour l'extraction du plomb, 483. — Four de Tarnowitz, 484. — Four gallois pour le traitement des minerais de cuivre sulfurés, 485. — Four américain pour le traitement des minerais de cuivre sulfurés, 488. — Fours avec laboratoire fixe et chauffage avec des combustibles liquides, 491. — Fours de Friederich Siemens, 491. — Fours avec laboratoire fixe et chauffage au gaz, 491. — Four à acier de Martin-Siemens, 492. — Four Martin avec chauffage au gaz à l'eau, 493. — Fours basculants, 494. — Fours avec laboratoire partiellement mobile, 495. — Four de Pernot, 496. — Fours avec laboratoire mobile, 497. — Fours de Howson et Thomas, 497. — Four de Danks, 497. — Four de Menessier, 498. — Four de Pietzka, 498.	
<b>Fours à réverbère pour les vaporisations. . . . .</b>	<b>500</b>
Four d'Alberti, 502. — Four de Czermak-Spirek, 502.	



c. <i>Fours à boulanger</i> . . . . .	503
d. <i>Fours à vases</i> . . . . .	503
<b>Fours à vases pour calcinations</b> . . . . .	504
Four de cémentation oxydante, 504. — Fours de grillage, 505. — Fours de grillage chlorurant des minerais de cuivre, 505. — Four d'Ilasenclever, 506. — Four de Liebig et Eichhorn, 508. — Four à acier cimenté, 510. — Four pour la réduction des oxydes de nickel et de cobalt, 410.	
<b>Fours à vases pour les fusions</b> . . . . .	512
Fourneau à vent, 512. — Fourneau de Sefström, 512. — Four à creuset pour la préparation de l'acide fondu, 513. — Four de Piat, 514. — Four à acier fondu avec chauffage au gaz, 515. — Four à acier fondu avec chauffage par un combustible liquide, 515. — Four à smalt, 517. — Four à tubes pour la liquation du bismuth, 517. — Four à moufle pour le raffinage de l'argent, 517. — Four à chaudière pour la désargentation du plomb, 518. — Four à chaudière pour le pattinsonnage à la vapeur, 520. — Chaudière de liquation, 522. — Four de Montefiore, 522.	
<b>Fours à vases pour les vaporisations</b> . . . . .	522
Fours pour la décomposition des alliages plomb-zinc-argent, 522. — Four basculant, 522. — Four à tubes, 523. — Four pour la décomposition d'amalgames, 524. — Four à cloches, 524. — Four à cornue, 526. — Four à tubes horizontaux, 526. — Four à tube vertical, 527. — Four pour l'épuration de l'acide arsénieux, 527. — Four à tubes à section circulaire pour l'extraction du zinc chauffé avec des combustibles solides, 528. — Avec chauffage Siemens et régénérateur, 528. — Four à tubes à section elliptique pour l'extraction du zinc, 530. — Four à mouffles ancien pour l'extraction du zinc, 531. — Four à mouffles nouveau avec chauffage au gaz, 531. — Four à mouffles avec chauffage au gaz et réchauffage de l'air de combustion, 533. — Four à mouffles avec chauffage Siemens, 534. — Four avec creusets, 534. — Four pour l'extraction de l'acide arsénieux, 535.	
II. — <i>Fours dans lesquels la chaleur est produite au moyen du courant électrique</i> . . . . .	536
1. <b>Fours dans lesquels le chauffage est produit pas la résistance électrique du corps à chauffer</b> . . . . .	536
Four de Cowles, 536. — Four d'Hérault, 538. — Four de Borchers, 540. — Fours d'Urbanitzky, 540. — Four d'Harmet, 541.	
2. <b>Fours dans lesquels le chauffage est produit par la résistance d'un corps étranger se trouvant en contact avec le corps à chauffer</b> . . . . .	543
Four de Borchers, 543. — Four de King et Watt, 544.	
3. <b>Fours dans lesquels le chauffage est produit par l'arc voltaïque</b> . . . . .	544
a. <i>Fours dans lesquels la substance à chauffer forme l'un des pôles ou les deux pôles de l'arc voltaïque</i> . . . . .	545
Four de Siemens, 545. — Four de la « Willson Aluminium Company », 546. — Four de Thwaite et Allen, 546. — Four de l'affinerie de Francfort-sur-le-Mein, 547. — Four de Slavianoff, 547.	
b. <i>Fours dans lesquels les substances à chauffer se trouvent dans un espace chauffé par l'arc voltaïque</i> . . . . .	547
Four de Siemens, 547. — Four de Rogerson, Statter et Stevenson, 547. — Four de Ducretet et Lejeune, 547. — Four de Moissan, 549. — Four de Chaplet, 550.	
<b>Fours mixtes</b> . . . . .	550
Fours mixtes de Minet, 550.	
B. <i>Dispositifs dépendant des fours, c'est-à-dire fonctionnant en même temps qu'eux</i> . . . . .	551
a. <b>Dispositifs de chargement</b> . . . . .	551
Entonnoir ou trémie de Parry, 553. — Entonnoir de Langen, 553. — Dispositif de Buderus, 554.	

<i>b.</i>	<b>Prises de gaz . . . . .</b>	554
	Prise de gaz de Pfort, 554. — Prise de gaz de Darby, 555. — Prise de gaz de Hoff, 555. — Prise de gaz de Langen, 556. — Prise de gaz de Buderus, 557.	
<i>c.</i>	<b>Dispositifs pour recueillir les poussières, les vapeurs et les gaz des usines . . . . .</b>	557
	<i>a.</i> <b>Dispositifs pour recueillir les poussières et les vapeurs métalliques . . . .</b>	558
	Refroidissement des fumées, 558. — Refroidissement par l'air, 559. — Refroidissement indirect par l'eau, 560. — Refroidissement direct par l'eau, 561. — Refroidissement par des objets froids placés dans l'espace où a lieu la réfrigération, 561. — Filtration des fumées, 562. — Lavage des fumées, 566. — Séparation des poussières par contact des fumées avec des surfaces, 566. — Diminution de la vitesse du courant gazeux, 568. — Changement de la direction du courant des fumées, 569. — Emploi de plusieurs moyens de séparation, 575. — Emploi de l'électricité, 576.	
	<i>β.</i> <b>Dispositifs pour recueillir ou rendre inoffensifs les gaz acides et le chlore</b>	577
	Procédés pour rendre inoffensifs et en même temps utiliser l'acide sulfureux, 577. — Préparation d'acide sulfurique, 577. — Préparation d'anhydride sulfurique et d'acide sulfurique à haut degré, 578. — Préparation d'acide sulfureux liquide, 579. — Préparation de sulfato de sodium, 583. — Préparation d'acide sulfhydrique, 583. — Préparation d'hyposulfite de sodium, 584. — Préparation de soufre, 586. — Préparation de solutions de cuivre, 587. — Préparation de solutions de fer, 588. — Désagrégation de minerais d'alun, 588. — Concentration de l'acide sulfureux, 588.	
	Procédés pour rendre inoffensifs l'acide sulfureux sans utilisation simultanée, 589. — Procédés pour rendre inoffensif l'anhydride sulfurique, 591. — Procédés pour rendre inoffensifs l'acide chlorhydrique et le chlore, 591.	
<i>d.</i>	<b>Dispositifs pour fournir, réchauffer et conduire l'air nécessaire pour les opérations de séparation pratiquées dans les fours . . . . .</b>	593
	<i>a.</i> <b>Souffleries ou machines soufflantes . . . . .</b>	593
	<b>Souffleries proprement dites . . . . .</b>	594
	Compression de l'air à l'aide de la vapeur, 594. — Soufflerie à jet de vapeur. — Compression de l'air au moyen de l'eau, 595. — Trompe, 593. — Souffleries d'Althans et d'Henschel, 596.	
	Compression de l'air à l'aide de surfaces solides, 597. — Souffleries avec mouvement continu des corps compresseurs, 598. — Souffleries dont l'espace où a lieu la condensation de l'air est limité par des corps solides, 598. — Souffleries à pistons rotatifs, 598. — Ventilateur de Root, 598. — Soufflerie à haute pression de Jäger, 600. — Soufflerie hélicoïdale de Krigar, 600. — Ventilateurs hélicoïdaux, 600.	
	Souffleries dont l'espace où a lieu la condensation de l'air est limité partie par des corps solides, partie par de l'eau, 601. — Cagniardelle, 601. — Soufflerie à chaîne ou chapelet, 602.	
	Souffleries avec mouvement intermittent des corps compresseurs, 602. — Souffleries dans lesquelles l'espace pour la condensation de l'air est limité par des corps solides, 603. — Soufflets en cuir, 603. — Soufflets pointus, 604. — Soufflets cylindriques, 606. — Soufflets pointus en bois, 606. — Soufflerie à caisses, 607. — Souffleries cylindriques, 608. — Organes essentiels de la soufflerie cylindrique, 610. — Disposition du cylindre soufflant, 615. — Souffleries à vapeur, 616. — Souffleries à vapeur horizontales, 616. — Souffleries à vapeur verticales. — 617. — Souffleries à vapeur oscillantes, 623. — Souffleries à gaz, 623. — Souffleries à moteurs hydrauliques, 624. — Souffleries à turbines, 625. — Effet utile des souffleries cylindriques, 626. — Soufflerie de Baader ou soufflerie à cloche, 627.	
	Compression de l'air à l'aide de surfaces solides et de la force centrifuge, 627. — Ventilateur avec sortie tangentielle de l'air, 628. — Avec palettes droites, 628. — Ventilateur de Schiele, 626. — Avec palettes courbes, 629. — Ventilateur de Rittinger, 629. — Ventilateur de Lloyd, 629. — Ventilateurs	

avec sortie centrale du vent, 629. — Ventilateur de Schwartzkoff, 629. — Effet utile des ventilateurs, 631.	
<b>Régulateurs.</b> . . . . .	631
Régulateurs à capacité invariable, 632. — Régulateurs à capacité variable, 633.	
<b>Appareils pour le chauffage du vent soufflé (appareils à air chaud)</b> . . .	634
<i>Appareils à air chaud en fer</i> . . . . .	635
Appareils à air chaud à tubes horizontaux, 638. — Appareil de Wasseral-fingen, 638. — Appareil de Langen ou de Westphalie, 638. — Appareil lorrain, 632. — Appareils à air chaud à tubes verticaux, 639. — Appareil de Calder, 639. — Appareil avec tubes à pistolet, 641. — Appareil du Cleveland, 642. — Appareil de Gjers, 643. — Appareil à tubes suspendus, 644.	
<i>Appareils à air chaud en briques</i> . . . . .	646
Appareil de Cooper, 646. — Appareil de Whitwell, 648. — Appareil de Massiks et Crooke, 650.	
<b>Dispositifs pour conduire le vent soufflé dans le lieu de son emploi</b> . .	650
Compensateurs, 652. — Buses, 651. — Porte-vent, 651. — Tuyères, 654. — Bottes et fentes à vent, 637.	
β. <i>Appareils agissant par aspiration</i> . . . . .	659
Cheminées, 660. — Extracteurs, 660.	
<b>Mesure de la tension du vent</b> . . . . .	661
<b>Mesure de la température du vent</b> . . . . .	661
<b>Détermination des quantités de vent fournies par les souffleries</b> . . . .	661
Détermination de la quantité de vent fournie d'après la quantité aspirée par la soufflerie, 661. — D'après la quantité insufflée, 662. — Par dosage du carbone consommé, 663. — D'après la teneur en azote des gaz du four, 663.	
<b>c. Monte-charge</b> . . . . .	664
<i>Monte-charge à cordes ou à chaînes</i> . . . . .	664
Monte-charge à tambour, 664. — Monte-charge avec chaîne sans fin, 665. — Monte-charge à balance d'eau, 663. — Monte-charge hydraulique ou à vapeur avec transmission à moulles, 667. — Monte-charge pneumatique de Gjers, 669.	
<i>Monte-charge sans cordes</i> . . . . .	669
Monte-charge hydraulique ou à colonne d'eau, 669. — Monte-charge pneumatique à action directe, 670.	
<b>2. Dispositifs de séparation par voie humide</b> . . . . .	670
A. <i>Dispositifs pour la voie humide dans le sens étroit</i> . . . . .	670
a. Dispositifs pour dissolutions et lixiviations . . . . .	671
α. Dispositifs pour dissolutions . . . . .	671
β. Dispositifs de lixiviations . . . . .	673
Dispositifs de lixiviations avec la masse immobile, 674. — Dispositifs avec la masse en mouvement, 680.	
b. Dispositifs de filtration . . . . .	680
Dispositifs de filtration ordinaire, 680. — Filtres-presses, 680.	
c. Dispositifs de clarification . . . . .	683
d. Dispositifs de concentration . . . . .	683
e. Dispositifs de précipitation . . . . .	684
f. Dispositifs de dessiccation . . . . .	688
g. Dispositifs de cristallisation . . . . .	688
h. Dispositifs de distillation . . . . .	688
B. <i>Dispositifs pour les procédés par amalgamation</i> . . . . .	689
a. Appareils d'amalgamation proprement dits . . . . .	689

Tonneaux rotatifs, 690. — Tinas, 591. — Moulins d'amalgamation, 691. — Chaudières à amalgamation, 694. — Bocard, 694.	
<i>b.</i> Dispositifs de lavage . . . . .	695
Settler, 695. — Agitateur, 696.	
<i>C.</i> <i>Dispositifs accessoires fonctionnant en même temps que les dispositifs de séparation de la voie humide</i> . . . . .	697
<i>a.</i> Dispositifs pour élever les liquides . . . . .	697
Monte-jus, 697. — Élévateur à mercure, 698.	
<i>b.</i> Dispositifs pour la production et le transport des gaz . . . . .	698
<i>c.</i> Dispositifs pour rendre inoffensifs les gaz et les vapeurs . . . . .	698
<b>3. Dispositifs de séparation par la voie électrométallurgique</b> . . . . .	698
<i>A.</i> <i>Dispositifs de séparation proprement dits</i> . . . . .	698
Disposition des appareils dans le système multiple, 699. — Disposition des appareils dans le montage en série, 707. — Séparation de l'argent et de l'or, 710. — Extraction de l'or de ses solutions dans le cyanure de potassium, 713. — Procédé de Pelatan-Clérici, 715.	
<i>B.</i> <i>Mesure de l'intensité et de la tension des courants</i> . . . . .	715
Ampèremètres et voltmètres, 715. — Galvanomètre de torsion de Siemens et Halske, 715. — Ampèremètre à ressort de Kohlrausch, 718. — Ampèremètre de Dolivo-Dobrowolski, 718. — Ampèremètre de Deprez-Carpentier, 718. — Voltmètre de Deprez-Carpentier, 719.	
<b>II. Dispositifs accessoires fonctionnant indépendamment des dispositifs de séparation</b> . . . . .	719
<b>1. Dispositifs de préparation mécanique</b> . . . . .	719
<i>A.</i> <i>Appareils de broyage</i> . . . . .	719
Moulins à meules verticales, 720. — Moulin à mortier, 721. — Moulin à boulets, 721. — Moulin centrifuge, 725.	
<i>B.</i> <i>Appareils de lavage</i> . . . . .	725
<i>C.</i> <i>Appareils pour le mélange des corps</i> . . . . .	725
Malaxeurs, 725. — Moulins à pilons, 725. — Tonne à boulets, 725.	
<i>D.</i> <i>Appareils de séparation</i> . . . . .	725
<b>2. Dispositifs de transport</b> . . . . .	726
<b>3. Dispositifs de façonnage</b> . . . . .	726

## CHAPITRE VII

## PRODUITS DE L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE

<b>I. Produits finaux</b> . . . . .	727
<b>II. Produits intermédiaires</b> . . . . .	728
<b>III. Déchets</b> . . . . .	729
Débris de fours, 729. — Crasses, 730. — Loups, 730. — Résidus solides des fusions, 730. — Résidus de sublimation et de distillation, 730. — Poussières, 731. — Scories, 731. — Résidus solides des opérations par la voie humide, 732. — Résidus liquides des opérations par la voie humide, 732. — Résidus liquides des opérations électrométallurgiques, 732. — Gaz sans valeur, 733.	

## TABLE ALPHABÉTIQUE

### A

Acide chlorhydrique dans les fumées, 571.  
 — sulfureux dans les fumées, 577, 589.  
 — — liquide, préparation, 579.  
 — sulfurique, préparation, 577.  
 Accumulateurs de chaleur, 279.  
 Additions, 17.  
 Affinage, 24.  
 Agents d'amalgamation, 80; d'arsénication, 74, 77; de carburation, 72, 74; de chloration, 72, 74; de décomposition, 76; de désagrégation, 76; d'oxydation, 71, 72, 77; de précipitation, 74, 77, 79; de réaction, 73; de réduction, 72, 73, 77; de scorification, 75; de sulfuration, 74, 77.  
 Agitateur, 696.  
 Aire de liquation, 351.  
 — de lit de fusion, 17.  
 Alberti, four à mercure, 502.  
 Alliages, 4, 7.  
 Alternance des charges, 411.  
 Althans, soufflerie, 696.  
 Aluminium, agent de réduction, 82, 296.  
 Aluminothermie, 296.  
 Amalgamateurs, 692.  
 Amalgamation, dispositifs pour l', 689.  
 Ammoniaque, extraction des gaz des fours à coke, 231.  
 Ampère, 302.  
 Ampèremètre, 715; de Deprez-Carpentier, 718; de Dolivo-Dobrowolski, 718; de Kohlrausch, 718.  
 Anhydride sulfurique dans les fumées, 591; préparation, 578.  
 Anion, 33.  
 Anneau de l'ouvrage, 303.  
 Anode, 33.  
 Anthracite, 172.  
 Antimoniates, 5, 11.  
 Antimoniures métalliques, 5, 9.  
 Appareils à air chaud, 694, 634; en briques, 646; en fer, 635.  
 Appareils pour la combustion, 263.

Appareil lorrain, 569.  
 Appolt, four à coke, 210.  
 Arent, siphon, 386.  
 Argent, séparation d'avec l'or, 710.  
 Argile, 334.  
 Arrêt des fours, 420.  
 Arrhénius, théorie de l'électrolyse, 315.  
 Arséniates, 5, 11.  
 Arséniures métalliques, 5, 9.  
 Autel, 439.  
 Avant-creuset, 380, 389.  
 Avant-four, 394.

### B

Baader, soufflerie, 627.  
 Baker, ventilateur, 999.  
 Barff et Thursfield, four à carboniser à tourbe, 198.  
 Bas foyers, 342, 351; à plomb américain, 355; à plomb écossais, 354; soufflés, 352; sans soufflerie, 351.  
 Bassin de coulée, 381.  
 Battitures de fer, 333.  
 Bauxite, 332.  
 Benzène, extraction des gaz des fours à coke, 231.  
 Berthelot, bombe calorimétrique, 89.  
 Berthier, cendre de bois, 139; chaleur de combustion, 97.  
 Bicheroux, four, 279; gazogène, 244.  
 Bisilicates, 13.  
 Bocard, 695.  
 Boëtius, four, 238; gazogène, 243.  
 Bois, 138; abatage, 143; classification, 138; combustibilité, 142; composition, 138; eau hygroscopique, 140; effet calorifique absolu, 142; poids spécifique, 141; préparation, 143; température de combustion, 143; torréfaction, 143.  
 Bois roux, 176.  
 — séché à l'air, 140.  
 Boîtes à vent, 593, 657.  
 Bombe calorimétrique de Berthelot, 89; de Malher, 91.

- Borchers, four électrique, 540, 543; raffinage du cuivre, 705.  
 Brandt, forsunka, 274.  
 Brasque, 338; légère. 340; lourde, 340; moyenne, 340.  
 Briques d'argile, 335; fabrication, 336.  
 Briques de coke, 340.  
 — de dolomie, 332.  
 — de quartz, 331.  
 Briquettes de houille, 173.  
 — de lignite, 156.  
 Brown, four de grillage, 457, 458.  
 Brückner, four de grillage, 467.  
 Brûleur-pulvérisateur, 274.  
 Brûleurs à pyrites, 365.  
 Brunton, four de grillage, 463.  
 Buderus, appareil de chargement, 554; prise de gaz, 557.  
 Buses, 593, 651.
- C**
- Cagniardelle, 601.  
 Calcination, 20, 29; carburante, 21; chlorurante, 21; oxydante, 21; proprement dite, 21; réductrice, 21.  
 Calder, appareil à air chaud, 639.  
 Calorie-gramme, 86.  
 — kilogramme, 86.  
 — moyenne, 87.  
 — d'Ostwald, 87.  
 Calorimètre, 87; de Berthelot-Hempel, 89; de Fischer, 88, 134; de Junker, 92; de Salleron-Démichel, 136; de Weinhold, 135.  
 Campagne, 421.  
 Carbonates, 5.  
 Carbone (agent de réduction), 53.  
 Carbonisation en cornues, 194, 198; en fosses, 192; en fours, 192, 198, 207; en fours-meules, 195; en meules, 182, 197, 205; en stalles, 205; en tas, 189, 197, 205.  
 Carbures métalliques, 10.  
 Carvès, four à coke, 226.  
 Cathion, 33.  
 Cathode, 33.  
 Cémentation, 22; oxydante, 22.  
 Cendre de bois, 139, 333.  
 — d'os, 333.  
 — de plomb, 14.  
 — de pyrite, 303.  
 Cendrier, 263.  
 Chaleur (production de la), 82; par combustion, 82; par le courant électrique, 298; par des processus chimiques, 82.  
 Chaleur de combustion, 86; détermination par le calcul, 95; au moyen du calorimètre, 87; par la méthode de Berthier, 97; d'après v. Jüptner, 98.  
 Chambres à poussières, 568, 569.  
 Chaleurs spécifiques, 101.  
 Châpelet, 602.  
 Chaplet, four électrique, 550.  
 Charbon de bois, 179; chaleur de combustion, 181; combustibilité, 181; composition, 180; poids spécifique, 180; préparation, 181.  
 Charbon dur, 180.  
 — de forge, 171.  
 — à gaz, 171.  
 — mou, 180.  
 — noir, 180.  
 — roux, 179.  
 Charbon de tourbe, 197; chaleur de combustion, 197; composition 197; préparation, 197.  
 Charge, 17; de charbon, 411; de coke, 411; de la journée, 171; légère, 411; lourde, 411; de minéral, 411; pleine, 411.  
 Chargement (dispositifs de), 551.  
 — des fours à cuve, 411.  
 — horizontal, 413.  
 — vertical, 416.  
 Chaudière à amalgamation, 694.  
 Chauffage au demi-gaz, 267.  
 — au gaz à l'eau, 289.  
 — aux hydrocarbures gazeux, 290.  
 — aux vapeurs de pétrole, 290.  
 Cheminées, 291, 660.  
 Chemise intérieure, 393.  
 Cheval-vapeur, 303.  
 Chlore dans les fumées, 591.  
 Chloruration, 21.  
 Ciment de laitier, 732.  
 Clarification (dispositifs de), 683.  
 Cline, 732.  
 Coke de houille, 199; chaleur de combustion, 202; composition, 200; eau hygroskopique, 200; fabrication, 204; poids spécifique, 202; teneur en carbone, 201; en cendre, 201; en soufre, 201.  
 Coke lavé, 203.  
 — de lignite, 199.  
 Collecteur de poison, 570.  
 Combustibles, 136.  
 — artificiels, 178.  
 — gazeux, 178, 237.  
 — liquides, 179, 237.  
 — naturels, 136.  
 — solides, 137.  
 Combustion, 82.  
 — (appareils de), 260.  
 — complète, 85.  
 — avec flamme, 84.  
 — sans flamme, 84.  
 — incomplète, 85.  
 Combustion des combustibles gazeux, 276; liquides, 273; solides, 263.  
 Compensateurs, 651.  
 Concentration (dispositifs de), 683.  
 Concentrateur, 696.  
 Conducteurs de la deuxième classe, 33; de la première classe, 33.

Conductibilité équivalente, 317.  
 — moléculaire, 317.  
 — spécifique, 316.  
 Conduction électrolytique, 33.  
 — métallique, 33.  
 Conduites de vent (calcul du diamètre des), 658.  
 Contrôle des foyers et des fours, 295.  
 Convertisseurs Bessemer, 422; pour cuivre, 424; suédois, 422.  
 Coppée, four à coke, 216.  
 Coppée-Otto, four à coke, 223.  
 Corps métallifères (achat des), 14; agglomération, 15; division, 15; préparation mécanique, 14.  
 Couffinhall, machine à agglomérer, 173.  
 Coulomb, 302.  
 Coupellation, 24.  
 Courant électrique, production, 308; mesure de sa tension, 715; emploi pour la production de chaleur, 298.  
 Cowles, four électrique, 538.  
 Cowper, appareil à air chaud, 646.  
 Crasses, 730.  
 Creuset des fours à cuve, 379.  
 Cristallisation (dispositifs de), 688.  
 Cubilot d'Irland, 407.  
 — de Krigar, 384.  
 Cuivre, raffinage électrolytique, 698.  
 Cuivre phosphoreux (agent de réduction), 55.  
 Curio, foyer, 260.  
 Cuve d'amalgamation, 691.  
 Czermak-Spirck, four à mercure, 436, 502.

**D**

Daelen et Blezinger, récupérateur, 288.  
 Dame, 392.  
 Danks, four rotatif, 497.  
 Darby, prise de gaz, 555.  
 Débris de fours, 729.  
 Déchets, 729.  
 — métallifères, 3, 14.  
 Défourneuse, 214.  
 Dellwik, gaz à l'eau, 255.  
 Dellwik-Fleischer, gaz à l'eau, 256.  
 Demi hauts fourneaux, 393.  
 Densité de courant, 324.  
 Deprez-Carpentier, ampèremètre, 718.  
 Désintégrateur, 725.  
 Dessiccation (dispositifs de), 683.  
 Dissociation, 84.  
 — de l'acide carbonique, 84.  
 — électrolytique, 315.  
 — de l'oxyde de carbone, 84.  
 — de la vapeur d'eau, 84.  
 Dissolvants, 78.  
 Dissolution (dispositifs de), 671.  
 Distillation, 28; dispositifs de, 688.  
 Dolivo-Dobrowolski, ampèremètre, 718.

Dose de minerais, 411.  
 Dowson, gaz mixte, 256.  
 Ducretet et Lejeune, four électrique, 547.  
 Dulong (formule de), 95.

**E**

Echelle de Prinsep, 112.  
 Effet calorifique, détermination, 86 (voy. Chaleur de combustion).  
 Electricité (production de l'), 301.  
 Electrolyse, 34, 314.  
 — (théorie de l'), 314.  
 Electrolytes, 33, 301.  
 Élévateur à mercure, 698.  
 Elmore, tubes de cuivre, 709.  
 Énergie électrique, 303.  
 Entonnoir de Parry, 553.  
 Équivalent électrique de la chaleur, 304.  
 — électro-chimique, 321.  
 — électro-mécanique, 305.  
 Erg, 304.  
 Étalages, 379.  
 Exeli, four à mercure, 434.  
 Exhausteurs, 660.

**F**

Faraday (lois de), 305, 320.  
 Fentes à vent, 376, 657.  
 Fer de bocage, 732.  
 — de tympe, 392.  
 Féry, pyromètre, 121.  
 Feu d'affinerie, 355.  
 Fibre ligneuse, 138.  
 Fichet et Heurtet, gazogène, 258.  
 Filtration (dispositif de), 680.  
 Filtre à amalgame, 696.  
 — à fumées, 563.  
 — presse, 680.  
 Finage, 21.  
 Fischer, calorimètre, 88, 134.  
 Fondants, 17.  
 Force électromotrice, 308.  
 Formation du lit de fusion, 17.  
 Forsunka, 274; de Brandt, 274; de Lenz, 274; de Tentelaw, 275.  
 Four à acier cimenté, 510,  
 — — Martin, 492.  
 — à avant-creuset, 389.  
 — basculant, 494, 522.  
 — à bassin, 389, 390.  
 — à boulanger, 342, 273, 503.  
 — à chaudières, 518, 527.  
 — à chemise d'eau, 384, 408.  
 — à cloches, 524.  
 Fours à coke, 206; d'Appolt, 210, à boulanger, 207; de Carvès, 216; de Coppée, 216; de Coppée-Otto, 218; de François-Rexroth, 225; de Haldy, 224; d'Hoffmann-Otto, 219, 221; d'Hüssener, 227;

- de Lürmann, 229; d'Otto, 223; ruches, 207; de Schaumbourg, 206; de Smet, 224; de Smet-Solvay, 228; de Wintzeck, 225.
- Fours à cornues, 342, 503, 522, 526.
- Four de coupellation, 478; allemand, 478; américain, 481; anglais, 479.
- Four à creuset, 385; fermé, 386; à œil, 388.
- Fours à creusets, 342, 503, 512, 513, 522, 534.
- Fours à cuve, 342, 357; classification, 238; forme, 357.
- Fours à cuve, aspirateurs, 397.
- — atmosphériques, 397.
- Fours à cuve de fusion, 379; arrêt temporaire, 420; chargement, 411; conduite, 409; extraction des produits de la fusion, 418; hauteur, 395; introduction du vent, 396; mise hors feu, 420; nettoyage, 419; séchage, 409; structure, 392.
- Fours à cuve de grillage, 359; de Gerstenhöfer, 368; de Giers, 362; d'Hasenclever-Helbig, 371; d'Herreshof, 378; de Malétra, 374; d'Ollivier-Perret, 373; de Spence, 396; à tablettes, 368; de Wagner, 361, 362; de Whelpely et Storer, 363.
- Fours à cuve soufflés, 401.
- — à tirage, 397.
- — à tirage naturel, 397.
- — pour vaporisation, 421.
- à cuvette, 495.
- Fours électriques, 536; de Borchers, 540, 543; de Chaplet, 550; de Cowles, 526; de Ducretet et Lejeune, 547; d'Harmet, 541; d'Ilérout, 538; de King et Watt, 544; mixte de Minet, 550; de Moissan, 549; de Rogerson, 547; de Siemens, 545; de Slawianoff, 547; de Twaite et Allen, 546; d'Urbanitzky, 540; de la « Willson Aluminium Company, » 547.
- Fours en fer à cheval de Brown, 457, 458.
- à flamme, 341, 426.
- à cuve, 426, 428, 429, 432, 434.
- à sole, 426, 437.
- gallois, 489.
- à granzita, 425.
- à jet de vapeur, 398.
- à liquation, 474, 475.
- à lunettes, 381.
- à manche, 397.
- Fours métallurgiques, 328; classification, 341; dispositions générales, 340; matériaux de leur construction, 328; rendement calorifique, 328.
- Fours-meules, 492, 495.
- Four mobile de Piat, 514.
- Fours à moufles, 342, 503, 506, 508, 510, 517, 521, 535.
- Fours à naphte, 491, 515.
- Fours à œils, 381, 363, 384.
- Fours oscillants, 494.
- à pelletage continu, 448.
- à plomb, 473, 483, 384.
- à poitrine fermée, 382, 394.
- à poitrine ouverte, 394.
- à puddler, 475.
- Fours à raffiner l'argent, 478; le cuivre, 477; le plomb, 477.
- Fours à réchauffer, 352, 461.
- à récupérateur, 285.
- à régénérateurs, 279.
- Fours à réverbère, 437; classification des, 465; dispositif de chauffage des, 438; laboratoire des, 440.
- Fours à réverbère de grillage, 445; à laboratoire mobile, 461, 467, 497; à travail continu, 447; à travail manuel, 449; à travail mécanique, 450.
- Four à rigole, 381.
- roulant, 461.
- à smalt, 515.
- à souder, 458.
- à sulu, 392.
- à terras, 436.
- tas, 342.
- à tubes, 342, 503.
- à vases, 342, 503, 504.
- à water-jacket, 384, 408.
- à zinc, 528, 531.
- — anglais, 534.
- Fourneau à loupes, 339.
- de Sefström, 512.
- à vent, 512.
- Foyer de Curio, 266.
- à flamme renversée, 269.
- de Friedberg, 271.
- à grille, 263.
- de Kudlicz, 271.
- pour poussière de charbon, 271.
- de Schwntzkopf, 272.
- de Wetherill, 356.
- de Willsmann, 267.
- François Rexroth, four à coke, 215.
- Freudenberg, séparation des poussières des fumées, 567.
- Friedberg, foyer, 271.
- Fumées, 266; formation, 267.
- Fumées d'usines, 557; filtration, 562; lavage, 566; refroidissement, 558; séparation des poussières, 558.
- Fumées de plomb, 563.
- Fusion, 21, 23, 29; carburante, 20; chlorurante, 26; dissolvante, 27; oxydante, 24, 44; avec précipitation, 25; avec réaction, 25; avec réduction, 24; scorifiante, 27; avec sulfuration, 25.

## G

- Galvanomètre pyrométrique, 122, 130, 132.
- de torsion, 715.



- Gaunlett, pyromètre, 103.  
 Gaz de carbonisation, 238.  
 — à l'eau, 251, 289.  
 — de gazogènes, 239.  
 — de gueulard, 238, 248.  
 — de haut fourneau, 238.  
 — mixte, 256.  
 — naturel, 178.  
 — Riché, 259.  
 Gazogènes, 241, 243.  
 — autoréducteur, 262.  
 — de Bicheroux, 244.  
 — de Boëtius, 244.  
 — de Fichet et Heurtey, 258.  
 — de Gröbe-Lürmann, 246.  
 — de Siemens, 243.  
 — soufflés, 245.  
 — de Taylor, 257.  
 Générateurs, 241.  
 Gerstenhöfer, four de grillage, 368.  
 Gibbs et Gelstharp, four de grillage, 465.  
 Gibbon, monte-charge, 670.  
 Gjers, appareil à air chaud, 643 ; four à cuve de grillage, 362 ; monte-charge, 669.  
 Goldschmidt, aluminothermie, 296.  
 Goudron, extraction des gaz des fours à coke, 231.  
 Grande calorie, 86.  
 Grillage, 22 ; chlorurant, 22, 48, 50 ; des combinaisons de l'antimoine, 47, des combinaisons de l'arsenic, 45 ; décomposant, 22 ; définitif, 39 ; pour noyaux, 38, 43 ; oxydant, 22 ; préliminaire, 39 ; sulfatisant, 41 ; des sulfures métalliques, 37, 38, 40 ; volatilissant, 48.  
 Grille, 263.  
 — double, 266.  
 — à étages, 268.  
 — à gradins, 267.  
 — inclinée, 266.  
 — plan, 264.  
 Gröbe-Lürmann, gazogène, 246.  
 Gueulard, 377.  
 — clair, 420.  
 — sombre, 420.
- H**
- Hagen, appareils à fumées, 560.  
 Haldy, four à coke, 224.  
 Hall et Bainbridge, four à carboniser la tourbe, 198.  
 Halles de grillage, 340.  
 Harmet, four électrique, 541.  
 Hartmann et Braun, pyromètre, 127.  
 Hasenclever, four à moules, 506.  
 Hasenclever-Helbig, four de grillage, 371.  
 Haut fourneau à fer, 392, 393, 403, 408.  
 Hayden, raffinage du cuivre, 707.
- Heim, four pour le chauffage du menu de houille, 173.  
 Hempel, bombe calorimétrique, 89.  
 Henschel, soufflerie, 597.  
 Herbetz, four à jet de vapeur, 398.  
 Héring, séparation des poussières des fumées, 554, 575.  
 Hérault, four électrique, 538.  
 Herreshof, four de grillage, 378.  
 Hilgenstock, tuyère à injection, 656.  
 Hocking-Oxland, four de grillage, 469.  
 Hoff, prise de gaz, 555.  
 Hoffmann-Otto, four à coke, 219, 221.  
 Horn, chaudière d'amalgamation, 694.  
 Houille, 166 ; cendre, 166 ; chaleur de combustion, 169 ; classification, 170 ; composition, 166 ; eau hygroscopique, 166 ; gaz, 167 ; inflammation spontanée, 169 ; poids spécifique, 167 ; préparation préliminaire, 173.  
 Houille à coke, 202.  
 — collante, 168.  
 — flambante, 171.  
 — grasse, 168, 171.  
 — grasse à courte flamme, 172.  
 — grasse à longue flamme, 171.  
 — luisante, 153.  
 — maigre, 168.  
 — maigre anthraciteuse, 172.  
 — maréchale, 171.  
 — sèche, 168.  
 — sèche à longue flamme, 171.  
 Howson et Thomas, four à laboratoire rotatif, 497.  
 Huile de pétrole, 177.  
 — — résidus, 177.  
 Hüssener, four à coke, 226.  
 Hydrocarbures (agents de réduction), 52.  
 — gazeux, 178.  
 — liquides, 177.  
 Hydrogène (agent de réduction), 51.  
 — disponible, 137, 166.  
 Hydroxydes, 4.
- I**
- Induction magnétique, 308.  
 Injecteur à vapeur, 660.  
 Intensité d'adhésion, 316.  
 Intensité du courant électrique, 302 ; sa mesure, 715.  
 Ions, 33.  
 Ireland, cubilot, 407.
- J**
- Jacobi, four à air chaud, 160 ; four à plateaux, 159.  
 Jäger, soufflerie, 600.  
 Jais, 153.

Jayet, 153.  
 Joule, unité électrique, 304.  
 — loi de, 308.  
 Jumbo, bas foyer, 354.  
 Junker, calorimètre, 92.  
 Jüptner, détermination de la chaleur de combustion, 98.

## K

Keller-Gaylord-Cole, four de grillage, 454.  
 Kérosine, 237.  
 Kilns, 365.  
 Kilogrammètre, 304.  
 King et Watt, four électrique, 544.  
 Klinghammer, potasimètre, 111.  
 Kohlrausch, ampèremètre, 718.  
 Krigar, cubilot, 384; soufflerie, 600.  
 Kroupski, four à pétrole, 290.  
 Kudlickz, foyer, 270.

## L

Laboratoire des fours à réverbère, 440.  
 — fixe, 440.  
 — mobile, 443, 444.  
 Laine de scorie, 732.  
 Laitier, 63.  
 Langen, appareil à air chaud, 638; appareil de chargement, 550.  
 Le Châtelier, pyromètre optique, 117; pyromètre thermo-électrique, 128.  
 Lencauchez, récupérateur, 288.  
 Lenz, forsunka, 274.  
 Lewis, filtre à fumée, 563.  
 Liebig et Eichhorn, four à mouffles, 508.  
 Lignite, 152; cendre, 154; chaleur de combustion, 155; classification, 153; composition, 154; dessiccation, 157; poids spécifique, 155; température de combustion, 155.  
 Lignite bitumineux, 153.  
 — commun, 153.  
 — fibreux, 153.  
 — gras asphaltique, 153.  
 — terne, 153.  
 — terreux, 153.  
 Liqueur, 23, 27.  
 Lit de fusion, 17.  
 — de grillage, 343, 346.  
 Livermoore, four à mercure, 436.  
 Lixiviation (dispositif de), 675.  
 Lloyd, ventilateur, 629.  
 Loi de Faraday, 307, 370.  
 — de Joule, 308.  
 — de Ohm, 303.  
 Loups, 730.  
 Lürmann, four à coke, 229; récupérateur, 287; tuyère à scorie, 189.

## M

Machines dynamo-électriques, 310; à courant alternatif, 311; à courant continu, 311; à enroulement mixte, 313; à excitation en série, 311.  
 Machines à balancier, 618.  
 — soufflantes, 593.  
 Mac-Kensie, ventilateur, 599.  
 Malaxeurs, 337, 725.  
 Malétra, four de grillage, 574.  
 Malher, bombe calorimétrique, 91, 93.  
 Marne, 333.  
 Massicks et Crooke, appareil à air chaud, 650.  
 Masut, 237.  
 Matière incrustante, 439.  
 Matières réfractaires, 329.  
 Mattes, 8, 25.  
 Mazéage, 21.  
 Mélange des minerais, 16.  
 Menessier, four oscillant, 498.  
 Mesuré et Nouel, lunette pyrométrique, 115.  
 Métaux, 4, 17.  
 — agents de réduction, 54.  
 — minéralisés, 4.  
 Meules de carbonisation, 182; allumage, 187; construction, 184; dimensions, 180; revêtement, 180; suée, 187.  
 Meules horizontales, 184.  
 — norvégiennes, 184.  
 — romanes, 183.  
 — slaves, 183.  
 — verticales, 183.  
 Minerais, 3; composition chimique, 4; dénomination, 6; préparation, 5.  
 Minet, fours mixtes, 550.  
 Mise hors feu des fours, 420.  
 Moebius, raffinage électrique de l'or et de l'argent, 710, 712, 713.  
 Moffet, bas foyer, 354.  
 Moissan, four électrique, 549.  
 Moser, four de grillage, 433.  
 Monte-charge, 664; à balance d'eau, 665; à chatne sans fin, 665; à colonne d'eau, 669; à cordes ou à chaînes, 664; sans cordes, 669; de Gibbon, 670; de Gjers, 669; hydrauliques, 667, 669; pneumatiques, 669, 670; à tambours, 664; à vapeur, 667.  
 Montefiore, four à zinc, 522.  
 Monte-jus, 697.  
 Montres fusibles, 113.  
 Moulins d'amalgamation, 691.  
 — à boulets, 721.  
 — centrifuges, 725.  
 — à meules verticales, 720.  
 — à mortier, 721.  
 — à pilons, 725.  
 Muraillement, 393.

**N**

Naphte, 177.  
 — résidus de, 237.  
 Nobel. combustion du pétrole, 773.  
 Noir de fumée, 265.  
 Novak, four à mercure, 421.

**O**

OEchsle, pyromètre, 103.  
 Ohm, loi de, 303.  
 — unité électrique, 302.  
 Œils des fours à cuve, 381.  
 — des tuyères, 379.  
 Ollivier-Perret, four de grillage, 370.  
 Opérations électrométallurgiques, 323.  
 Or, précipitation de sa solution dans le cyanure de potassium, 713; séparation d'avec l'argent par électrolyse, 710.  
 Ostwald, calorie, 86.  
 Otto, four à coke, 223.  
 Ouvrage, 379.  
 Oxyde de carbone, agent de réduction, 53.  
 Oxydes métalliques, 4, 7.  
 — — réduction des, 56.  
 Oxysels, 3, 11.

**P**

Parkes, four de grillage, 450.  
 Parry, prise de gaz, 553, 555.  
 Passage de la flamme, 439, 440.  
 Pelatan-Clérici, extraction de l'or, 715.  
 Pernot, four à cuvette, 496.  
 Petit foyer, 355.  
 Petite calorie, 86.  
 Pétrole, 177; chaleur de combustion, 177;  
 composition, 177; poids spécifique, 177.  
 Pfort, prise de gaz, 554.  
 Phosphates, 5.  
 Phosphore (agent de réduction), 55.  
 Phosphures métalliques, 10.  
 Piat, four à creuset mobile, 514.  
 Pieds noirs, 207.  
 Pierres réfractaires, 331.  
 Pietzka, four à puddler rotatif, 498; récupérateur, 288.  
 Piltz, four à cuve, 405.  
 Plaque de tympe, 392.  
 Poitrine des fours à cuve, 394.  
 Polarisation, 323.  
 Ponsard, four à gaz, 286.  
 Pont de chauffe, 439.  
 Portc-vent, 651.  
 Potentiel, 303.  
 Poussières, 557, 731; appareils pour les recueillir, 558; séparation des fumées par l'électricité, 576.  
 Précipitation, dispositifs de, 684.  
 Presse à briquettes, 165.

SCHNABEL. — Métallurgie générale.

Presse à coke, 214.  
 Pression osmotique, 315.  
 Prinsep, échelle de, 112.  
 Prises de gaz, 248, 254; de Buderus, 537;  
 de Darby, 535; de Hoff, 555; de Langen,  
 556; de Parry, 553; de Pfort, 554.  
 Procédés électrométallurgiques, 19; avec  
 anodes insolubles, 356; avec anodes sol-  
 ubles, 35; par voie humide, 35; par  
 voie sèche, 35.  
 Procédés par amalgamation, 32; par voie  
 humide, 19, 30; par voie sèche, 19, 30.  
 Produits finaux, 727.  
 — intermédiaires, 3, 727, 728.  
 — principaux, 727.  
 — secondaires, 727.  
 Pyromètre à air, 105.  
 — calorimétrique, 133.  
 — de Féry, 121,  
 — de Gauntlett, 103.  
 — à graphite, 103, 104.  
 — métallique, 103.  
 — d'OEchsle, 103.  
 — optique de Le Châtelier, 117.  
 — — de Mesuré et Nouel, 115.  
 — — de Wanner, 116.  
 — à résistance de Hartmann, 127.  
 — — de Siemens, 124.  
 — de Schaffner et Budenberg, 103.  
 — de Steinle et Hartung, 103.  
 — de Trampler, 103, 104.  
 — de Tremeschini, 103.  
 — thermo-électrique de Le Châ-  
 telier, 128.  
 — — de Siemens, 127.  
 — de Wiborgh, 107.  
 — de Zabel, 103.

Pyroscopes, 111.

**Q**

Quaglio, 304.

**R**

Raffinage oxydant, 74.  
 Rampant, 440, 445.  
 Randolph, raffinage du cuivre, 708.  
 Raschette, four à cuve, 390, 404.  
 Réactifs, 73.  
 Récupérateurs, 278, 285; de Daelen et Ble-  
 zinger, 288; de Lencauchez, 288; de Lür-  
 mann, 287; de Pietzka, 289.  
 Réduction, 50; agents de, 52, 72, 73,  
 Régénérateurs, 278, de Siemens, 230.  
 Régulateurs de tension du vent, 594, 631;  
 à cloches, 633; à piston, 633; sphérique,  
 632.  
 Renard, 440.  
 Résistance électrique, 302.  
 Ressuage, 123.  
 Revêtement intérieur, 393.

48

Rigole des fours à cuve, 381.  
 Rittinger, ventilateur, 629.  
 Ropp, four de grillage, 453.  
 Root, ventilateur, 598.  
 Rossi, bas foyer, 354.  
 Rösing, chambres à poussières, 568.  
 Rôtissage, 44.  
 Ruches, 207.

## S

Sable de scorie, 732.  
 Salleron-Démichel, calorimètre, 136.  
 Schäffer et Budenberg, pyromètre, 103.  
 Schenk, four à carboniser la tourbe, 198.  
 Schiele, ventilateur, 628.  
 Schlösser, appareil à fumées, 561.  
 Schmidhammer, soupape à coquille, 283.  
 Schröder et Hänisch, acide sulfuroux liquide, 579.  
 Schröder et Macco, séparation des poussières des fumées, 575.  
 Schulz, appareil à tubes pour la dessiccation du lignite, 162.  
 Schwartzkopf, foyer, 272.  
 Scories 11, 731: constitution; 12, couleur, 69; fluidité, 67; fusibilité, 65; poids spécifique, 69; structure, 68.  
 Scories acides, 76.  
 — d'affinage, 334.  
 — basiques, 76.  
 — dures, 730.  
 — oxydées, 11, 70.  
 — silicatées, 64.  
 Scorification, 63.  
 Seger, montres fusibles, 113.  
 Sélecteur, 426.  
 Sesquisilicates, 13.  
 Settler, 695.  
 Siemens, four électrique, 545; gazogène, 243; pyromètre à résistance, 124; pyromètre thermo-électrique, 127; raffinage du cuivre, 703; régénérateur, 280.  
 Siemens-Halske, galvanomètre, 715; machines dynamo-électriques, 314.  
 Silicates, 5, 11; fusibilité, 67.  
 Siliciures métalliques, 10.  
 Singulosilicates, 13.  
 Siphon d'Arent, 386.  
 Slawianoff, four électrique, 547.  
 Smet, four à coke, 274.  
 Smet-Solvay, four à coke, 228.  
 Smith, raffinage du cuivre, 708.  
 Société des usines à plomb et argent d'Ems, four de grillage, 465.  
 Sole des fours à réverbère, 441.  
 — de grillage, 343.  
 — de liquation, 351.  
 Soufflerie d'Althans, 596.  
 — de Baader, 627.  
 — à caisse, 607.  
 — à chaîne, 602.

Soufflerie à cloches, 627.  
 — cylindrique, 608.  
 — à gaz, 623.  
 — d'Illenschel, 597.  
 — de Jäger, 600.  
 — à jet de vapeur, 594.  
 — de Krigar, 600.  
 — à pistons rotatifs, 598.  
 — à roues hydrauliques, 624.  
 — à tonneaux, 626.  
 — à turbines, 625.  
 — à vapeur 616.  
 — — oscillantes, 623.  
 Souffleries, 593; effet utile des, 626.  
 Soufflets, 603.  
 — en bois pointus, 606.  
 — en cuir, 603.  
 — — cylindriques, 606.  
 — — pointus, 603.  
 Soufre, préparation, 586.  
 Speiss, 9.  
 Spence, four de grillage, 376.  
 Stalles de grillage, 343, 346.  
 — bohème, 348.  
 — hongroise, 349.  
 — de Schaumbourg (cokc), 206.  
 — styrienne, 349.  
 — de Wellner, 349.  
 Steinle et Hartung, pyromètre, 100.  
 Stetefeldt, four à flamme à cuve, 432.  
 Sublimation, 28.  
 Subsiliates, 13.  
 Sulfates, 5, 11,  
 Sulfures métalliques, 4, 8; agents de réduction, 35; séparation des métaux des sulfures métalliques, 57, 60, 62, 63.  
 Système multiple, 696.

## T

Tas de carbonisation (bois), 189.  
 — allemand, 189.  
 — morave-silésien, 191.  
 — suédois, 191.  
 Tas de grillage, 343.  
 Taylor, gazogène, 237.  
 Teichmann, tuyère à injection, 656.  
 Température de combustion, 98; détermination par le calcul, 99; détermination par mesure, 102.  
 Température de dissociation, 84.  
 — d'inflammation, 83.  
 Tenbrinck, grille, 266.  
 Tentelew, forsunka, 275.  
 Thalpotasimètre, 111.  
 Thermité, 297.  
 Thermodynamomètres, 110.  
 Thermomètre à mercure, 105.  
 Thermophone de Wiborgh, 124.  
 Thofehrn, fabrication électrolytique des tubes de cuivre, 709.

Tinas, 691.  
 Tirage du charbon de bois, 189.  
 — des cheminées, 292.  
 Tonalité thermique, 305.  
 Tonneau d'amalgamation, 690.  
 Tonnes à boulets, 723.  
 Torréfaction du bois, 143 ; de la tourbe, 152.  
 Tour à poison, 570.  
 Tourbe, 144 ; chaleur de combustion, 150 ;  
 composition, 147 ; dessiccation, 152 ; ef-  
 fet calorifique, 150 ; extraction, 150 ; poids  
 spécifique, 149 ; température d'inflamma-  
 tion, 150 ; torréfaction, 152.  
 Tourbe artificielle, 151.  
 — à la bêche, 150.  
 — de bois, 147.  
 — de bruyères, 147.  
 — à la drague, 150.  
 — fibreuse, 147.  
 — de gazon, 147.  
 — de mousses, 146.  
 — piciforme, 147.  
 — de piquage, 150.  
 — pressée, 151.  
 — de roseaux, 147.  
 — séchée à l'air, 149, 152.  
 Tourbières, 145.  
 — basses, 145.  
 — hautes, 145.  
 — mixtes, 146.  
 Tramper, pyromètre, 103, 104.  
 Trèmeschini, pyromètre, 103.  
 Trémie de Parry, 553.  
 Trisilicates, 13.  
 Trompe, 595.  
 Trou de coulée, 381, 386.  
 — du rampant, 439, 440, 445.  
 — des tuyères, 379.  
 Tuyères, 396, 594, 654.  
 — à injection, 656.  
 — de Lürmann, 389.  
 — à scories, 386.  
 Twaitte et Allen, four électrique, 546.  
 Tympe, 392.

## U

Unité de chaleur, 86.  
 — électrique, 302.

Urbanitzki, four électrique, 540.  
 Usines métallurgiques, 1.

## V

Vaporisation, 20, 28, 29 ; complexe, 29 ;  
 simple, 28.  
 Vent, détermination de la pression du, 661 ;  
 mesure de la température du, 661.  
 Ventilateurs de Baker, 599.  
 — centrifuges, 677.  
 — effet utile, 631.  
 — hélicoïdaux, 600.  
 — de Lloyd, 629.  
 — de Mac-Kensie, 599.  
 — de Rittinger, 629.  
 — de Root, 598.  
 — de Schiele, 628.  
 — de Schwartzkopff, 629.  
 Voie humide, 19.  
 — sèche, 19.  
 Volt, 308.  
 Volt-coulomb, 309.  
 Voltmètre, 715.

## W

Wagenmann, four à carboniser la tourbe,  
 493.  
 Wagner, fours à cuve de grillage, 362.  
 Wanner, pyromètre, 119.  
 Watt, unité électrique, 304.  
 Wchlpoly et Storer, four de grillage, 363.  
 Weinhold, calorimètre, 135.  
 Wellner, stalle de grillage, 349.  
 Welter (loi de), 97.  
 Westmann, four de grillage, 430.  
 Wetherill, foyer, 356.  
 White, four de grillage, 468.  
 Wiborgh, pyromètre, 107 ; thermophone,  
 124.  
 Willmsmann, foyer, 267.  
 Wintzeck, four à coke, 225.  
 Withwell, appareil à air chaud, 468.

## Z

Zabel, pyromètre, 103.



CATALOGUE D'OUVRAGES  
SUR  
**LA MÉTALLURGIE. — LA CHIMIE**  
**ET LES INDUSTRIES CHIMIQUES**

ÉDITÉS PAR

*La Librairie Polytechnique CH. BÉRANGER*

Successesseur de BAUDRY et C<sup>ie</sup>

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, A PARIS

21, RUE DE LA RÉGENCE, A LIÈGE

---

*Le catalogue complet est envoyé franco sur demande.*

---

**MÉTALLURGIE**

**Métallurgie du fer.**

Manuel théorique et pratique de la métallurgie du fer, par A. LEFÈVRE, professeur de métallurgie à l'école des mines de Freiberg (Saxe), traduit de l'allemand par BARBARY DE LANGLADE, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur civil des mines, maître de forges; revu et annoté par P. VALTON, ingénieur civil des mines, ancien chef de service des hauts fourneaux et aciéries de Torre-Noire. 2 volumes grand in-8°, avec figures dans le texte, reliés. 2<sup>e</sup> édition pour paraître fin août 1903.

**Métallurgie de l'acier.**

La métallurgie de l'acier. Classification et constitution de l'acier. Carbone et fer. Preuves de l'existence des deux modes de combinaisons du carbone et du fer. Effets du carbone sur les propriétés physiques et mécaniques du fer. Trempe, tempérament et recuit. Théorie de la trempe et du recuit. Fer et silicium. Fer et manganèse. Fer et soufre. Fer et phosphore. Influence du phosphore sur les propriétés physiques du fer. Chrome, tungstène, cuivre. Métaux ne se présentant que très rarement dans le fer. Fer et oxygène. Fer et azote. Fer et hydrogène. Fer et oxyde de carbone. Absorption des gaz par le fer et leur développement. Des moyens d'éviter les soufflures et la cavité centrale. De la structure et de tout ce qui s'y rapporte. Etude microscopique des sections polies. Cassure. Changements de cristallisation, etc. Travail à froid, travail à chaud. soudure. Tréfilerie. Laminage et étirage à froid. Poinçonnage et cisailage. Procédés directs, Affinage au bas-foyer. Procédé au creuset. Chimie du procédé au creuset. Appareils relatifs aux procédés Bessemer. Aciers spéciaux. Enduits préservatifs de la rouille. Trempe au plomb, par HENRY MARION HOWE, professeur à Boston (Etats-Unis) traduit par OCTAVE HOCK, ingénieur aux usines à tubes de la Société d'Escout et Meuse, à Anzin, ancien chef de service des Acieries d'Isbergues. 1 volume in-4°, avec de nombreuses figures dans le texte, relié. . . . . 75 fr.

**Métallurgie : Cuivre, plomb, argent et or.**

Traité théorique et pratique de métallurgie; Cuivre, plomb, argent et or, Cuivre. Propriétés, minerais, extraction, purification, voie sèche, voie humide, voie électrométallurgique. PLOMB: propriétés, minerais, extraction du plomb: 1° des minerais; 2° de la galène; 3° du sulfate de plomb; 4° des produits métallurgiques plombifères. Raffinage du plomb. ARGENT. Propriétés, minerais, extraction par voie sèche ou ignée, préparation du plomb d'œuvre, enrichissement de l'argent dans le plomb d'œuvre, traitement du plomb d'œuvre pour argent ou

couppellation, voie sèche et voie humide réunies, voie électrométallurgique, extraction par dissolution et précipitation. Or. Propriétés, minerais, *extraction* : 1° par préparation mécanique; 2° par voie sèche; 3° par voies sèche et humide réunies; 4° par transformation en un alliage or mercure; 5° par dissolution aqueuse; 6° par voie électrométallurgique. Séparation de l'or des alliages. *Affinage*. Voie sèche, voie humide, voie électrométallurgique, par C. SCHNABEL, professeur de métallurgie et de chimie technologique à l'Académie des mines de Clausthal (Harz), traduit de l'allemand par le D<sup>r</sup> L. GAUTIER. 1 volume grand in-8 avec 586 figures dans le texte relié. 40 fr.

### Métallurgie : Zinc, mercure, étain, etc.

Traité théorique et pratique de métallurgie : zinc, cadmium, mercure, bismuth, étain, antimoine, arsenic, nickel, cobalt, platine, aluminium, par C. SCHNABEL, professeur de métallurgie et de chimie technologique à l'Académie des mines de Clausthal (Harz), traduit de l'allemand par le D<sup>r</sup> L. GAUTIER. 1 volume grand in-8, avec 373 figures dans le texte, relié. . . . . 30 fr.

### Métallurgie du zinc, du plomb et de l'argent.

Les usines à zinc, plomb et argent de la Belgique. Etude sur les conditions de salubrité intérieure, par Ad. FENKFT, inspecteur général des mines. 1 volume in-8° avec figures . . . . . 4 fr.

### Métallurgie.

Album du cours de métallurgie professé à l'Ecole centrale des Arts et Manufactures, par JORDAN, ingénieur d'usines métallurgiques, professeur à l'Ecole centrale. 1 atlas de 140 planches in-folio, cotées et à l'échelle, et 1 volume grand in-8° 80 fr.

### Métallurgie.

Traité complet de métallurgie, comprenant l'art d'extraire les métaux de leurs minerais et de les adapter aux divers usages de l'industrie, par Pency, professeur à l'Ecole des mines de Londres. Traduit avec l'autorisation et sous les auspices de l'auteur, avec introduction, notes et appendices, par A.-E. PRITIGAND et A. RONNA, ingénieurs. 5 volumes grand in-8°, avec de nombreuses gravures . . . . . 75 fr.  
Chaque volume se vend séparément. . . . . 18 fr.

### Métallurgie.

Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer, comprenant la fabrication de la fonte, du fer, de l'acier et du fer-blanc, à l'usage des savants, des ingénieurs et des Ecoles spéciales, par C.-E. JULIEN, ancien ingénieur du Crousot, de l'usine de Montataire et des aciéries de Pézin, Gaudet et C<sup>ie</sup>. 1 volume et 1 atlas in-4°, de 52 planches doubles . . . . . 86 fr.

### Métallurgie.

Cours de métallurgie professé à l'Ecole des mines de Saint-Etienne, par URBAIN LE VERRIER, ingénieur des mines.  
1<sup>re</sup> partie. Métallurgie des métaux autres que le fer, comprenant la métallurgie du plomb, du cuivre, du zinc, de l'étain, de l'antimoine et du bismuth, du nickel et cobalt, du mercure, de l'argent, de l'or et du platine. 1 volume in-4°, avec 43 planches . . . . . 18 fr.  
2<sup>e</sup> partie. Métallurgie générale. *Epuisée*.  
3<sup>e</sup> partie. Métallurgie de la fonte. 1 volume in-4°, avec 17 planches . . . 18 fr.

### Métallurgie.

Etat actuel de la métallurgie du fer dans le pays de Siegen (Prusse), notamment de la fabrication des fontes acideuses, par JORDAN. 1 volume in-8°, avec planches. 5 fr.

### La crise industrielle russe.

Contribution à l'étude de la crise industrielle du Donetz. Géologie de Krivoï-Rog et de Kertsch, production sidérurgique de la Russie méridionale, par J. CONFRÈRE, ingénieur. 1 volume grand in-8°, contenant 19 planches hors texte et 4 cartes. Relié . . . . . 10 fr.

### Crise industrielle du plomb.

La crise de l'industrie française du plomb, par G. HYEART, ingénieur et minéralogiste. 1 volume in-4°. . . . . 5 fr.



**Électro-Métallurgie.**

Traité d'électrométallurgie, Magnésium, lithium, glucinium, sodium, potassium, calcium, aluminium, cerium, lanthane, didyme, cuivre, argent, or, zinc, cadmium, mercure, étain, plomb, bismuth, antimoine, chrome, manganèse, fer, nickel, cobalt, platine, etc., par W. BORGHEIS, professeur à l'École de métallurgie de Duisburg, traduit d'après la deuxième édition allemande, par le D<sup>r</sup> L. GAUTHIER. 1 volume grand in-8°, avec 198 figures dans le texte. Relié . . . . . 25 fr.

**Électro-Métallurgie.**

Traité théorique et pratique d'électro-métallurgie. Galvanoplastie, analyses électrolytiques, électro-métallurgie par voie humide, méthodes électrolytiques, calcul des conducteurs, chauffage électrique, l'arc voltaïque et charbons électriques, travail électrique des métaux, les fours électriques; électro-métallurgie par voie sèche, méthodes électrolytiques et électro-thermiques, électro-thermie, par АДОЛФЪ МИНЕТ, officier de l'instruction publique, fondateur de l'usine d'aluminium de Saint-Michel-de-Maurienne, directeur du journal *l'Electro-Chimie*. 1 volume grand in-8°, contenant 205 figures dans le texte. Relié . . . . . 20 fr.

**Électro-Chimie.**

Traité théorique et pratique d'électro-chimie. Constantes chimiques, mécaniques et électriques. Systèmes électrolytiques. Lois générales de l'électrolyse. Théorie de l'électrolyse. Traitement électrolytique des composés chimiques. Electrolyse appliquée à la chimie organique. Réaction chimique de l'étincelle et de l'effluve électriques, par АДОЛФЪ МИНЕТ, directeur du journal *l'Electro-Chimie*. 1 volume in-8°, contenant 206 figures dans le texte. Relié . . . . . 18 fr.

**Exercices d'électro-chimie.**

Exercices d'électrochimie, par FÉLIX ETTTEL, traduits de l'allemand par G. DUCHESNE et précédés d'une préface de JEAN KRUTWIG, professeur à l'Université de Liège, 1 brochure grand in-8°, avec figures dans le texte. . . . . 2 fr. 50

**Galvanisation à froid.**

La galvanisation à froid ou zingage électro-chimique, par L. QUIRY, chimiste électricien. 1 brochure grand in-8°, avec figures dans le texte. . . . . 2 fr. 50

**Galvanisation du fer.**

N. B. Les études suivantes ont paru dans le *Portefeuille des Machines* et se vendent, avec la livraison qui les renferme, au prix de 2 fr. la livraison.

Galvanisation à froid, système Cowper-Coles. Livr. de septembre 1894. 2 fr.  
La galvanisation électrique ou zingage galvanique. Livraisons de juillet et août 1898 . . . . . 4 fr.

**Voie humide. Cuivre, argent et or.**

Extraction de cuivre, de l'argent et de l'or par la voie humide, par CH. DEFRANCE, ingénieur civil. 1 volume in-8°, avec 22 figures dans le texte. Relié . . . . . 7 fr. 50

**Docimasie.**

Docimasie. Traité d'analyse des substances minérales. par RIVOR, ingénieur en chef des mines, professeur de docimasie à l'École des mines de Paris. 2<sup>e</sup> édition. 5 volumes grand in-8° . . . . . 50 fr.

**Guide du chimiste métallurgiste et de l'essayeur.**

Guide pratique du chimiste métallurgiste et de l'essayeur. Prélèvement et préparation des échantillons, opérations chimiques du laboratoire d'analyses métallurgiques, analyse et essai des combustibles, analyse des gaz, analyse et essai des matériaux réfractaires, analyse des eaux industrielles, analyse des minerais et des métaux, alliages, données numériques, par CAMPREDON, chimiste-métallurgiste, essayeur de commerce et directeur du Laboratoire d'analyses métallurgiques et industrielles de Saint-Nazaire, précédé d'une préface de M. P. MAHLER, ingénieur civil des mines. Ouvrage honoré d'un prix de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale. 1 volume grand in-8°, avec de nombreuses figures dans le texte. Relié . . . . . 30 fr.

**Essai des combustibles.**

Manuel pour l'essai des combustibles et le contrôle des appareils de chauffage. — Mesure des températures. — Analyse et détermination du pouvoir calorifique des combustibles. — Analyse des gaz des foyers. — Combustibles solides, liquides et gazeux. — Gazogènes et appareils de chauffage. — Contrôle des foyers des chaudières à vapeur fixes et des locomotives, des fours métallurgiques et industriels, des cheminées, des poêles et des calorifères, par le D<sup>r</sup> F. FISCHER, professeur à l'Université de Gœttingue, traduit d'après la quatrième édition allemande, par le D<sup>r</sup> L. GAUCIER. 1 volume in-12, avec 54 figures dans le texte. Relié. . . . . 6 fr.

**Analyse des laboratoires d'aciéries Thomas.**

Méthodes d'analyses des laboratoires d'aciéries Thomas. Echantillonnage. Préparation. Dosages. Calculs à l'usage du personnel des chimistes et des manipulateurs, par ALBERT WENCKELIUS, chef de laboratoire aux établissements de Neuves-Maisons. 1 volume in-18, contenant 19 figures dans le texte. Relié . . . . . 4 fr.

**Dosage du soufre.**

Dosage du soufre dans les produits de la sidérurgie, par L. CAMPBÉDON, chimiste métallurgiste. 1 volume grand in-8°. . . . . 7 fr. 50

**Essais au chalumeau.**

Instructions pratiques concernant la conduite des essais qualitatifs et quantitatifs au chalumeau, à l'usage des prospecteurs, mineurs, essayeurs, etc., par E.-L. FLETCHER, traduites et interprétées avec l'autorisation de l'auteur, par E. MOHNEAU, ingénieur civil des mines. 1 volume in-12, format de poche. Relié . . . . . 6 fr.

**Essais de minerais de fer.**

Des fraudes dans les essais contradictoires de minerais de fer, par J. THOYOT, Une brochure in-3°. . . . . 1 fr.

**Alliages de cuivre et de zinc.**

Recherches sur les alliages de cuivre et de zinc, par GEORGES CHARPY, ancien élève de l'École polytechnique, docteur ès sciences, avec 11 figures dans le texte, 4 planches en phototypie et de nombreux tableaux. Ce mémoire a paru dans la livraison de février 1896 du *Bulletin de la Société d'Encouragement*. Prix de la livraison . . . . . 5 fr.

**Préparation des minerais.**

Traité pratique de la préparation des minerais, manuel à l'usage des praticiens et des ingénieurs des mines, par C. LINKENBACH, ingénieur des usines à plomb argentifère d'Ems, traduit de l'allemand par H. COURNOT, ingénieur des mines. 1 volume grand in-8° avec 24 planches. Relié. . . . . 30 fr.

**Grillage des minerais.**

Traité théorique des procédés métallurgiques de grillage, par PLATNER (traduit de l'allemand), annoté et augmenté, par AURIBONSE FÉLIS. 1 volume in-8°, avec planches 12 fr.

**Laminage du fer et de l'acier.**

Traité théorique et pratique du laminage du fer et de l'acier, par LÉON GRUZE, ingénieur principal à la Société anonyme des forges et aciéries du Nord et de l'Est, à Valenciennes. 1 volume grand in-8° et 1 atlas de 81 planches. Relié. . . . . 25 fr.

**Trempe de l'acier.**

L'acier à outils, manuel traitant de l'acier à outils en général, de la façon de le traiter au cours des opérations de forgeage, du recuit, de la trempe et des appareils employés à cet effet, à l'usage des métallurgistes, fabricants et chefs d'atelier, par OTTO THALLNER, ingénieur en chef, chef de la fabrication aux aciéries à outils de Bismarckhütte, traduit de l'allemand par ROSAMBERT, ingénieur des arts et manufactures, ancien ingénieur des aciéries Martin et au crouset de Resicza, chef de service aux aciéries de France. 1 volume in-8°. Relié. . . . . 8 fr.

**Trempe de l'acier.**

Théorie et pratique de la trempe de l'acier. Définition, classification, propriétés physiques et chimiques. dénomination des aciers, essais des aciers, trempe de l'acier, causes d'insuccès de la trempe, amélioration de l'acier altéré par le feu, sou-

dage de l'acier, amélioration des pièces d'acier destinées aux machines et aux constructions, par FRIDOLIN REIBER, directeur de l'aciérie de Kapfenberg, 2<sup>e</sup> édition, traduit de l'allemand, par BARBARY DE LANGLADE, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur civil des mines, maître de forges. 1 volume in-8°. Relié. . . . . 7 fr. 80

### Convertisseurs.

Les convertisseurs pour cuivre, par P. JANNETAZ, ingénieur. Répétiteur à l'École centrale. 1 brochure grand in-8°, contenant 23 figures dans le texte et 1 plancho (*Extrait des Mémoires et Comptes Rendus de la Société des Ingénieurs civils*). . . . . 3 fr.

### Fabrication des poutrelles ou fers I.

Sur les conditions techniques et économiques actuelles de la fabrication des poutrelles ou fers I en Belgique : le minéral et le charbon étant pris comme points de départ, par H. WOLTERS. 1 volume in-8°, avec 2 planches . . . . . 6 fr.

### Hauts fourneaux.

Construction et conduite des hauts fourneaux et fabrication des diverses fontes, par A. DE VATHAINE, ancien directeur des hauts fourneaux de Bessèges, Saint-Louis, Marival, Forges de Champagne et Balaruc. 1 volume grand in-8° et 1 atlas in-4° de 16 planches. . . . . 18 fr.

### Utilisation des gaz des hauts fourneaux.

De l'utilisation directe des gaz des hauts fourneaux pour la production de la force motrice, par H. HUBERT, ingénieur en chef des mines, chargé de cours à l'Université de Liège (*Extrait du Congrès international des mines et de la métallurgie, tenu à Paris en 1900*). 1 brochure grand in-8°. . . . . 2 fr. 50

### Pyromètre.

Pyromètre actinométrique, par LATANCHE. 1 brochure grand in-8°. . . . . 1 fr

### Manuel du fondeur.

Manuel du fondeur-mouleur en fer. Études : 1<sup>o</sup> sur les fontes de moulage; analyses et mélanges; 2<sup>o</sup> l'installation et le matériel complet d'une fonderie de moyenne importance, pour moulage en pièces mécaniques; 3<sup>o</sup> le moulage en terre; 4<sup>o</sup> le moulage au trousseau en sable; 5<sup>o</sup> le moulage en fonte trempée, par E. MOLÉRAT, chef fondeur-mouleur. 1 volume grand in-8°, avec 69 planches. . . . . 15 fr.

### L'Art du mouleur.

L'art du mouleur. Manuel pratique. Moulage des pièces dans le sable humide, confection des divers types de moules, disposition des coulées, canaux de dégagement des gaz, fabrication des petits noyaux. Moulage en sable séché. Moulage en terre et noyaux. Vocabulaire technique des termes employés chez les mouleurs, par A. TESSON, ancien chef d'atelier de fonderie, ancien élève des Ecoles nationales d'arts et métiers. 1 volume grand in-8°, avec 286 figures dans le texte. Relié . . . . . 20 fr.

### L'acier dans les constructions.

De l'emploi de l'acier dans les constructions navales, civiles et mécaniques, par PÉRISSÉ. 1 volume grand in-8°. . . . . 3 fr.

### L'acier et ses applications.

L'acier dans ses principales applications, procédés de fabrication *Bessemer, Thomas, Martin-Siemens*. Pelits convertisseurs, *Robert, Cambier, Tropenas*, par J. MALENGRAU. 1 volume in-8°, avec 2 planches. . . . . 5 fr.

### Cylindres de laminoirs.

Fabrication des cylindres de laminoir, par DENEY. 1 volume in-8°, avec 3 planches. . . . . 5 fr.

### Métallurgie de l'aluminium.

Note sur la métallurgie de l'aluminium et sur ses applications, par U. LE VERRIER, ingénieur en chef des mines, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, 1 brochure grand in-8°. . . . . 2 fr. 50

**Aluminium et nickel.**

L'aluminium et le nickel. Conférence faite devant l'Association française pour l'avancement des sciences, par Jules GARNIER. 1 brochure in-8°. . . . . 2 fr. 50

**Usine Krupp.**

L'usine Krupp, notice par FRIEDRICH C. G. MULLER, 1 volume in-4°, avec de nombreuses illustrations de Félix Schmidt et Anders Montan. Relié. . . . . 25 fr.

---

## CHIMIE ET INDUSTRIES CHIMIQUES

**Histoire de la chimie.**

Histoire de la chimie. I. Histoire des grandes lois chimiques. — II. Histoire des métalloïdes et de leurs principaux composés. — III. Histoire des métaux et de leurs principaux composés. — IV. Histoire de la chimie organique, par R. JAGNAUX. 2 volumes grand in-8°, contenant plus de 1 500 pages. . . . . 32 fr.

**Aide-mémoire du chimiste.**

Aide-mémoire du chimiste. Chimie inorganique, chimie organique, documents chimiques, documents physiques, documents minéralogiques, etc., etc., par R. JAGNAUX. 1 beau volume, contenant environ 1 000 pages, avec figures dans le texte, solidement relié en maroquin. . . . . 15 fr.

**Vade-Mecum du fabricant de produits chimiques.**

Vade-mecum du fabricant de produits chimiques, par le Dr G. LUNGER, professeur de chimie industrielle à l'École Polytechnique fédérale de Zurich, traduit de l'allemand sur la 2<sup>e</sup> édition par V. HASSENPETER et PROSER, chimistes-industriels. 1 volume in-12, avec figures dans le texte, relié . . . . . 7 fr. 50

**Traité de chimie.**

Traité de chimie avec la notation atomique, à l'usage des élèves de l'enseignement primaire supérieur, de l'enseignement secondaire moderne et classique, des candidats aux écoles du gouvernement et aux élèves de ces écoles, par Louis SERRES, ancien élève de l'École Polytechnique, professeur de chimie à l'École municipale supérieure Jean-Baptiste-Say. 1 volume in-8°, avec figures dans le texte . . . . . 10 fr.

*On vend séparément :*  
Première partie : Métalloïdes. . . . . 3 fr. 50  
Deuxième partie : Métaux. . . . . 3 fr. 50  
Troisième partie : Chimie organique. . . . . 3 fr. 50

**Cours de chimie.**

Cours de chimie à l'usage des candidats aux Ecoles nationales des Arts et Métiers, par Louis SERRES, ancien élève de l'École polytechnique, professeur de chimie à l'École municipale Jean-Baptiste-Say. 1 volume petit in-8°, contenant 123 figures dans le texte, cartonné. . . . . 2 fr. 50

**Cours de physique.**

Cours de physique à l'usage des candidats aux Ecoles nationales des Arts et Métiers, par Louis SERRES, ancien élève de l'École polytechnique, professeur à l'École municipale Jean-Baptiste-Say. 1 volume petit in-8°, contenant 281 figures dans le texte, cartonné. . . . . 3 fr.

**Chimie appliquée à l'industrie.**

Traité de chimie appliquée à l'industrie, par ADOLPHE RENARD, docteur ès sciences, professeur de chimie appliquée à l'École supérieure des sciences de Rouen. 1 volume grand in-8°, avec 225 figures dans le texte. . . . . 20 fr.

**Chimie médicale et pharmaceutique.**

Traité de chimie minérale, médicale et pharmaceutique, par le Dr R. HUGUET, professeur de chimie et de toxicologie à l'École de médecine et de pharmacie de Clermont-Ferrand, pharmacien en chef des hospices, inspecteur des pharmacies, ex-interne lauréat des hôpitaux de Paris, 2<sup>e</sup> édition. 1 volume grand in-8°, de plus de 1 000 pages, avec 427 figures dans le texte . . . . . 15 fr.

**Cours élémentaire de chimie.**

Cours élémentaire de chimie, professé à la Faculté des sciences de Paris, pour les candidats au Certificat d'études physiques, chimiques et naturelles (P. C. N.), par A. JOANNIS. 1 volume in-8°, avec figures dans le texte, relié . . . . . 10 fr.

*On vend séparément :*

- Première partie : Généralités, mécanique chimique, métalloïdes . . . . . 3 fr. 50
- Deuxième partie : Métaux. . . . . 1 fr. 50
- Troisième partie : Chimie organique. . . . . 3 fr. 50
- Quatrième partie : Chimie analytique . . . . . 1 fr. 50

**Chimie organique.**

Traité élémentaire de chimie organique, par A. BERNTHSEN, directeur scientifique de la société *Badische anilin und soda fabricht*, ancien professeur à l'Université de Heidelberg, traduit sur la 6<sup>e</sup> édition allemande par M. CHOFFEL (introduction et série aromatique) et E. SUAIS (série grasse), chimistes au laboratoire de recherches de l'usine Poirrier. 1 volume in-8°. Relié . . . . . 15 fr.

**Lois générales de la Chimie.**

Lois générales de la Chimie. Lois chimiques des masses, lois chimiques de l'énergie, lois chimiques relatives aux réactions réversibles, résistances passives dans les transformations chimiques et procédés pour les surmonter; introduction du cours de chimie générale professé à l'École nationale des mines, par G. CHESNEAU, ingénieur en chef des mines. 1 volume grand in-8°, avec figures dans le texte . . . . . 7 fr. 50

**Analyse chimique.**

Traité d'analyse chimique des substances commerciales, minérales et organiques. Analyse qualitative, analyse quantitative. Métalloïdes, métaux, substances organiques, matières tannantes, terres arables, engrais, substances alimentaires, boissons fermentées, matières colorantes naturelles, matières diverses, par R. JAGNAUX, 2<sup>e</sup> édition. 1 volume grand in-8°, avec figures dans le texte. Relié . . . . . 20 fr.

**Analyse chimique.**

Tableaux d'analyse chimique minérale, d'après FRÉSENUS, par C. DESMAZURES. 11 tableaux figuratifs renfermés dans un carton . . . . . 20 fr.

**Manipulations chimiques.**

Manipulations chimiques qualitatives et quantitatives préparatoires à l'étude systématique de l'analyse, par L.-L. DE KOMIŃSK, ingénieur honoraire des mines, professeur à l'Université de Liège. 1 volume in-12, avec figures dans le texte. . . . . 2 fr. 50

**Dictionnaire d'analyse.**

Dictionnaire d'analyse des substances organiques, industrielles et commerciales, par ADOLPHE RENARD, docteur ès sciences, professeur de chimie à l'École supérieure des sciences de Rouen. 1 volume in-8°, avec figures dans le texte, relié. . . . . 10 fr.

**Traitement bactérien des eaux d'égout.**

Le traitement bactérien des eaux d'égout, par G. THUDICHUM, traduit de l'anglais par F. LAUNAY, ingénieur en chef des ponts et chaussées, à l'usage des conseillers municipaux et des ingénieurs municipaux. 1 volume in-8°. . . . . 2 fr. 50

**Analyse de l'eau.**

Guide pratique pour l'analyse de l'eau. Analyse chimique, micrographique et bactériologique, par le Dr W. OHMULLER, professeur d'hygiène à l'Université de Berlin, traduit d'après la 2<sup>e</sup> édition allemande, par le Dr L. GAUTIER. 1 volume in-8°, avec 77 figures dans le texte et une planche. Relié . . . . . 10 fr.

**Méthodes de travail pour le laboratoire.**

Méthodes de travail pour les laboratoires de chimie organique, par le Dr LASSAR COHN, professeur de chimie à l'Université de Königsberg, traduit de l'allemand par E. ACKERMANN, ingénieur civil des mines. 1 volume in-12, avec figures dans le texte. Relié . . . . . 7 fr. 50

**Industries du zinc et de l'acide sulfurique.**

Manuel de chimie analytique appliquée aux industries du zinc et de l'acide sulfurique, par Eug. PROST, chef des travaux et répétiteur du cours de chimie analytique à l'Université de Liège, et V. HASSREIDTTER, chimiste-industriel. 1 volume grand in-8°, avec figures dans le texte . . . . . 7 fr. 50

**Chimie unitaire.**

Principes de chimie unitaire. Théorie des atomicités et des types, par HAVREZ, ingénieur des mines. 1 volume in-8°. . . . . 3 fr.

**Produits chimiques.**

Examen comparatif de la fabrication des produits chimiques en Belgique et en Angleterre, par MARLIX. 1 volume in-8°, avec planches. . . . . 4 fr.

**Combustions spontanées.**

Etude scientifique et juridique sur les combustions spontanées réelles ou supposées, spécialement au cours de transports par chemins de fer ou maritimes, par E. TARNIER DE GRANSAGNIENS, membre de la Société chimique de Paris et de la Société géologique de France, avocat, sous-chef du contentieux à la Compagnie des chemins de fer de l'Onest. 1 volume grand in-8°. . . . . 7 fr. 50

**Épuration des eaux.**

Traité de l'épuration des eaux naturelles et industrielles; analyse et essais des eaux, inconvénients de l'impureté des eaux, examen des procédés physiques employés à l'épuration des eaux, épuration ou correction chimique, systèmes mixtes, corrections des eaux dans les chaudières, description et examen critique des appareils, épuration des eaux résiduelles, par DELNOTTE. 1 volume grand in-8°, avec 147 figures dans le texte. Relié . . . . . 15 fr.

**Eaux d'alimentation de Toulouse.**

Les eaux d'alimentation de la ville de Toulouse. Leur histoire, leur rôle au point de vue hygiénique; contribution à l'étude des filtres naturels, par le Dr HENRI MARCOUR, préparateur à la Faculté des sciences de Toulouse. 1 volume grand in-8°, avec 2 planches. . . . . 7 fr.

**Les eaux potables.**

Les eaux potables et leur rôle hygiénique dans le département de Meurthe-et-Moselle, par le Dr Ed. LUBEAUX, ingénieur des ponts et chaussées, directeur du service municipal de Nancy. 1 volume grand in-8° et 1 atlas in-4° contenant 9 tableaux et 12 planches. . . . . 20 fr.

**Fabrication du gaz.**

Traité théorique et pratique de la fabrication du gaz. Aide-mémoire et formulaire. Combustibles minéraux, appareils de distillation, appareils de chauffage, chauffage des fours, cheminées, distillation de la houille, étude du gaz d'éclairage, épuration, extraction, mesurage du gaz fabriqué, emmagasinement du gaz, émission, distribution du gaz, mesurage du gaz chez les abonnés, emploi du gaz à l'éclairage, au chauffage, à la ventilation et à la production de la force motrice, photométrie, eaux ammoniacales, goudron, coke, prix de revient du gaz; à l'usage des ingénieurs, directeurs et constructeurs d'usines à gaz, par EDMOND BORTAS, ingénieur des arts et manufactures, directeur d'usines à gaz. 1 volume in-8°, avec figures dans le texte. Relié . . . 25 fr.

**Distribution du gaz.**

Calcul des conduites de distribution du gaz d'éclairage et de chauffage, par D. MONNIER. 1 volume in-4°. . . . . 10 fr.

**L'éclairage à Paris.**

L'éclairage à Paris. Etude technique des divers modes d'éclairage employés à Paris sur la voie publique, dans les promenades et jardins, dans les monuments, les gares, les théâtres, les grands magasins, etc., et dans les maisons particulières. — Gaz, électricité, pétrole, huile, etc.; usines et stations centrales, canalisation et appareils d'éclairage; organisation administrative et commerciale, rapports des Compagnies avec la ville; traités et conventions; calcul de l'éclairage des voies publiques; prix de revient, par HENRI MARÉCHAL, ingénieur des ponts et chaussées et du service municipal de la ville de Paris. 1 volume grand in-8°, avec 221 figures dans le texte. Relié. . . . . 20 fr.

**Conservation des bois et des substances alimentaires.**

Traité de la conservation des bois, des substances alimentaires et des diverses matières organiques, par PAULER. 1 volume grand in-8°. . . . . 9 fr.

**Traité de Savonnerie.**

Traité pratique de savonnerie. Matières premières, matériel, procédés de fabrication de savons de toute nature, par EDOUARD MORIN, ingénieur-chimiste. Ouvrage couronné par la Société industrielle du nord de la France. 2<sup>e</sup> édition complètement remaniée. 1 volume grand in-8°, avec 115 figures dans le texte. Relié. . . . . 16 fr.

**Les Huiles essentielles.**

Les huiles essentielles et leurs principaux constituants : alcools terpéniques et leurs éthers. — Aldéhydes. — Cétones. — Lactones. — Phénols et dérivés. — Aldéhydes-phénols. — Cinéol. — Terpènes et sesquiterpènes. — Ethers d'alcools de la série grasse. — Composés sulfurés. — Corps à sérier, par E. CHARANON, professeur d'essais et analyses à l'Institut commercial, examinateur dans les jurys des écoles supérieures de commerce de Paris, J. DUPONT, chimiste industriel, ancien préparateur au laboratoire de chimie organique de la Faculté des sciences de Paris, et L. PILLET, ingénieur chimiste, distillateur d'huiles essentielles, avec une préface de E. GRIMAUD, membre de l'Institut. Un très fort volume in-8° . . . . . 20 fr.

**Distillerie.**

Manuel de distillerie. Guide pratique pour l'alcoolisation des grains, des pommes de terre et des matières sucrées, par le D<sup>r</sup> BUCHELER, directeur de l'Institut technique de distillerie de Weihenstephan (Bavière), traduit de l'allemand et augmenté de nombreuses additions, par le D<sup>r</sup> L. GAUTHIER. 1 volume grand in-8°, avec 156 figures dans le texte. Relié . . . . . 20 fr.

**Brasserie.**

Traité complet théorique et pratique de la fabrication de la bière et du malt, comprenant la description de tous les procédés, machines et appareils les plus récents, suivi du texte de la législation fiscale régissant la brasserie dans divers pays, par J. CARUYVELS et CHARLES STAMMER. 1 volume grand in-8°, avec 150 gravures sur bois . . . . . 20 fr.

**Fabrication du chocolat.**

La fabrication du chocolat et des autres préparations à base de cacao. Pays de production, histoire et culture du cacaoyer, description botanique du cacaoyer et de ses fruits, la récolte, le terrage. Les fèves de cacao. Sortes commerciales des fèves de cacao. Commerce des fèves de cacao. Consommation des produits fabriqués. Composition chimique des fèves de cacao. Les coques du cacao. Matières à additionner aux chocolats. Fabrication du chocolat. Fabrication du cacao en poudre et du cacao soluble. Conservation et emballage des produits fabriqués. Appareils de transport. Moteurs. Installation d'une chocolaterie et d'une fabrique de cacao. Examen chimique et microscopique des produits à base de cacao. Règlements officiels. Législation douanière française. Composition et fabrication de quelques préparations diététiques à base de cacao, par le D<sup>r</sup> P. ZIPPERER, 1 volume grand in-8° contenant 87 figures dans le texte et 2 planches. Relié . . . . . 20 fr.

**Sucrierie.**

Épuration des jus sucrés par l'électricité par L. QUIVY, électro-chimiste. 1 brochure in-12 . . . . . 3 fr. 50

**Saccharimétrie optique.**

Exposé élémentaire des principes de saccharimétrie optique, par G. CÉSARO, professeur à l'Université de Liège et P. BOSSY, directeur de l'école sucrière belge. 1 brochure in-8° avec 28 figures dans le texte . . . . . 2 fr. 50

**Aide-mémoire de sucrierie.**

Aide-mémoire de sucrierie. Renseignements chimiques, renseignements techniques, renseignements agricoles, par D. SIBERSKY, ingénieur - chimiste, conseil technique de sucrierie et de distillerie. 1 volume in-12, avec de nombreux tableaux. Relié . . . . . 10 fr.

**Industrie sucrière. — Comptabilité.**

Monographie comptable d'une fabrique de sucre, organisation, inspection, direction et appropriation de comptabilités sucrières, commissariat de surveillance, par J. CHEVALIER, expert-comptable professeur. 1 volume in-8° . . . . . 12 fr.

**Corps gras.**

Corps gras. Huiles, graisses, beurres, cires, par A. RENARD. 1 volume in-8°. 6 fr.

**Vernis et huiles siccatives.**

Vernis et huiles siccatives. Vernis volatils et vernis gras : matières premières, résines, dissolvants, colorants; huiles siccatives, propriétés et applications; travail des huiles à chaud et à froid, fabrication, emploi, essais des différents vernis, par Ach. LIVACHE, ingénieur civil des mines. 1 volume in-12, avec figures dans le texte, relié . . . . . 10 fr.

**Peinture industrielle.**

Traité pratique de peinture industrielle. Provenances, fabrication, qualités, défauts et analyse des couleurs. Huiles, siccatifs, essences, vernis. Imitations, de bois et de marbre. Dorure, bronzure. Peintures d'équipages et autres voitures, Procédés nouveaux, par A. SOUMIS, professeur de peinture à l'École industrielle de Louvain, 1 volume grand in-8° contenant plusieurs planches hors texte 15 fr.

**Peinture au blanc de zinc.**

La peinture au blanc de zinc, son emploi. Formulaire de 100 dosages et préparations, par A. SOUMIS, professeur de peinture à l'École industrielle de Louvain. 1 brochure in-8° . . . . . 1 fr. 50

**Huiles, essences, vernis, couleurs.**

Les matières premières employées en imprimerie, art et peinture. Etude préparatoire et emploi des huiles, essences, vernis et couleurs, par RAOUL LEMOINE, ingénieur-chimiste et Ch. DU MANOIR, critique d'art. 1 volume grand in-8° . . . . . 6 fr.

**Matières colorantes artificielles.**

Traité pratique des matières colorantes artificielles dérivées du goudron de houille, par A.-M. VILLOIN, ingénieur chimiste. 1 volume grand in-8°, avec figures dans le texte. . . . . 20 fr.

**Teinture des soies.**

Traité de la teinture des soies, précédé de l'histoire chimique de la soie et de l'histoire de la teinture de la soie, par MARIUS MOYRET. 1 volume in-8° . . . 20 fr.

**Traité de la Teinture et de l'Impression.**

Traité de la teinture et de l'impression des matières colorantes artificielles par J. DEPIERRE.

*Première partie.* Epuisée.

*Deuxième partie :* L'alizarine artificielle et ses dérivés. 1 volume grand in-8° contenant 181 échantillons tant imprimés que teints, sur coton, jute, etc., 19 planches hors texte et 108 figures, relié . . . . . 40 fr.

*Troisième partie :* Le noir d'aniline, l'indigot naturel, l'indigot artificiel, impression sur laine. 1 volume grand in-8° contenant 176 échantillons, 10 planches hors texte, 51 figures et 4 cartes. Relié . . . . . 35 fr.

*Quatrième partie :* Couleurs azoïques fixées directement sur la fibre, couleurs azophores, etc., leurs applications sur les divers fibres, genre divers dérivés de ces applications, nouvelles matières colorantes artificielles rouges. 1 volume grand in-8° contenant 200 échantillons tant imprimés que teints, sur coton, laine, jute, soie, etc. et 3 planches hors texte. Relié . . . . . 35 fr.

**Apprêts des tissus de coton.**

Traité des apprêts et spécialement des tissus de coton, blancs, teints et imprimés, par J. DEPIERRE, 1 volume grand in-8° avec 223 gravures dans le texte, 35 planches et 131 échantillons. Relié. . . . . 40 fr.

*Epuisé, une nouvelle édition est en préparation.*

**La Garance.**

Dictionnaire bibliographique de la garance, par CLOUET ET DEPIERRE. 1 volume grand in-8° . . . . . 10 fr.

**Fixage des couleurs.**

Traité du fixage des couleurs par la vapeur, par JOSEPH DEPIERRE, 1 volume grand in-8°, avec 10 planches . . . . . 10 fr.



**Impression et teinture.**

L'impression et la teinture des tissus à l'Exposition universelle de 1878. Rapport présenté à la Société industrielle de Rouen, par JOSEPH DEPIERRE, 1 brochure grand in-8° . . . . . 3 fr. 50

**Fabrication des matières de blanchiment.**

Traité de la fabrication des matières de blanchiment. — Chlore et chlorure de chaux. — Liquides de blanchiment. — Ozone. — Peroxyde d'hydrogène. — Peroxyde de sodium. — Persulfate d'ammonium. — Percarbonate de potassium. — Permanganate de potassium. — Permanganate de sodium. — Bioxyde de soufre ou acide sulfureux et sulfites. — Acides hydrosulfureux et hydrosulfites, par V. HOLBLING; traduit de l'allemand par le Dr L. GADTIFR. 1 volume in-8° contenant 240 figures dans le texte. Relié . . . . . 15 fr.

**Dégraissage. — Blanchiment.**

Traité pratique du dégraissage et du blanchiment des tissus, des toiles, des échaveaux, de la flotte, etc., ainsi que du nettoyage et du détachage des vêtements et des tentures, par A. GILLER. 1 volume in-8°, avec gravures dans le texte. 5 fr.

**Fabrication des tissus imprimés.**

Guide pratique de la fabrication des tissus imprimés. Impression des étoffes de soie, par D. KÄPPELIN. 1 volume in-12, avec 12 échantillons et 1 planche. 10 fr.

**Machines à laver.**

Monographie des machines à laver employées dans le blanchiment, la teinture des fils, échaveaux, chaînes, bobines, le blanchiment et la fabrication des toiles peintes, par JOSEPH DEPIERRE. 1 volume grand in-8°, et atlas de 7 planches 12 fr. 50

**Fabrication des cuirs.**

Traité pratique de la fabrication des cuirs et du travail des peaux. Tannage, corroyage, hongroyage, mégisserie, chanoiserie, parcheminerie, cuirs, vernis, maroquins, fourrures, courroies, selles, équipements militaires, harnais, théorie du tannage, statistique des cuirs et des peaux, par VILLOX. 1 volume grand in-8° contenant 120 figures dans le texte . . . . . 18 fr.

**Pasteurisation et stérilisation du lait.**

Pasteurisation et stérilisation du lait, par le Dr H. DE ROTHSCHILD, lauréat de la Faculté de médecine. 1 volume in-12 avec 33 figures dans le texte. . . . . 1 fr. 50.

**Fabrication du papier.**

Manuel de fabrication du papier, par C. F. CROSS et E.-J. BÉVAN, traduit de l'anglais par L. DESMARETS, directeur des papeteries G. Maillet, à Thiers. 1 volume in-8° avec 82 figures dans le texte et 2 planches hors texte . . . . . 15 fr.

**Fabrication du papier.**

Le papier, ou l'art de fabriquer le papier, traduction en français de *Papyrus sive ars conficiendæ Papyri*, par A. BLANCHET, avec le texte en latin de J. Imberdis. 1 volume in-12 imprimé sur papier à la forme. . . . . 3 fr.

**Fabrication de la cellulose.**

Traité pratique de la fabrication de la cellulose, à l'usage des directeurs techniques et commerciaux des fabriques de papier et de cellulose, des chefs d'atelier et des écoles professionnelles, par MAX. SCHUMER, directeur d'usine, traduit de l'allemand avec notes et additions, par E. BINAS, ancien élève de l'École Polytechnique, sous-directeur de la Société des Papeteries du Marais et de Sainte-Marie. 1 vol. in-12 avec de nombreuses figures dans le texte. Relié. 10 fr.