

Section de l'Ingénieur



L. GAGES

ÉLABORATION

DES MÉTAUX

DÉRIVÉS DU FER

FOYERS MÉTALLURGIQUES

GAUTHIER-VILLARS

MASSON & C^{IE}

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Osier - Élaboration des métaux dérivés du fer, I 1

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie
scientifique des Aide-Mémoire ; L. Isler, Secrétaire
général, 20, boulevard de Courcelles, Paris.*

N° 270 A

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

ÉLABORATION

DES

MÉTAUX DÉRIVÉS DU FER

FOYERS MÉTALLURGIQUES

PAR

L. GAGES

Capitaine d'artillerie

PARIS

GAUTHIER-VILLARS,

IMPRIMEUR-ÉDITEUR

Quai des Grands-Augustins, 55

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS,

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)

*OUVRAGES DE L'AUTEUR PARUS
DANS LA COLLECTION DE L'ENCYCLOPÉDIE*

- I. Travail des métaux dérivés du fer.**
- II. Élaboration des métaux dérivés du f**
Foyers métallurgiques.
- III. Élaboration des métaux dérivés du f**
Réactions métallurgiques.

ÉLABORATION DES MÉTAUX

DÉRIVÉS DU FER

PRÉLIMINAIRES

L'histoire des procédés d'élaboration des métaux ferreux contient les faits les plus intéressants au point de vue de la science archéologique ; elle est intimement reliée à celle de la civilisation et paraît remonter, par suite, à la plus haute antiquité.

Les *fers* et les *aciers* sont les deux classes principales de ces métaux connues depuis fort longtemps, il n'en est pas de même des *fontes* qui n'ont été obtenues qu'à une époque relativement rapprochée de la nôtre.

La préparation du fer devait s'effectuer jadis dans des foyers rudimentaires consistant en de simples trous creusés dans le sol et entourés d'un mur bas en grès, ainsi qu'en témoignent les résidus calcinés et scorifiés qu'on a retrouvés.

Le minerai de fer riche était grillé et fondu en tas au contact du combustible ; le vent naturel auquel durent succéder des soufflets plus ou

6 ÉLABORATION DES MÉTAUX DÉRIVÉS DU FER

moins perfectionnés devait activer la combustion.

Sous l'action de cette fusion à la fois réductive et oxydante, le minerai perdait son oxygène, un certain nombre de corps étrangers accompagnant le fer dans son minerai étaient brûlés et il restait une sorte de magma spongieux dont les pores étaient imbibés de composés fusibles semi-fluides et dont la partie principale plus résistante était constituée par du fer à l'état de grumeaux plus ou moins ramollis par la chaleur.

Le forgeage de cette masse portée à haute température par percussion ou par pression intervenait ensuite pour expulser de l'éponge métallique les composés semi-fluides et pour souder entre eux les grumeaux de fer.

On avait ainsi obtenu le fer brut.

Ces foyers primitifs, dans lesquels s'élaborait le fer, consistant en une cavité peu profonde creusée dans le sol et plus ou moins bien revêtue, reçurent le nom de *bas-foyers* ; ils finirent par se perfectionner dans le cours des âges et donnèrent lieu à autant de manipulations différentes suivant les pays dans lesquels se répandit la fabrication des métaux ferreux.

C'est à ces manipulations si élémentaires qu'on donnait naguère les noms de méthodes

suédoise, allemande, styrienne, corse, catalane, navarraise, etc.

Les méthodes rationnelles de traitement des minerais, adoptées depuis un siècle à peine, ne les ont pas encore fait disparaître complètement ; mais on peut dire qu'elles n'ont plus aujourd'hui d'importance industrielle et que le jour n'est pas éloigné où il n'en sera plus question qu'au point de vue de l'histoire spéciale des procédés d'élaboration du fer.

On ne connaît rien de précis sur l'origine de la fabrication des aciers, métaux plus fusibles, plus durs, plus élastiques, plus résistants que les fers et, par suite, recherchés pour la confection des outils et des armes.

Cette fabrication dut suivre une marche analogue à celle du fer, mais la production de l'acier fut sans doute plus spécialisée à cause des tours de main ou artifices qu'elle nécessitait.

On sait aujourd'hui, en effet, que les aciers sont des métaux composés en très grande partie de fer associé à des teneurs très-faibles d'autres éléments étrangers parmi lesquels le carbone joue un rôle essentiellement actif pour donner au métal des propriétés caractéristiques.

Il fallait donc, dans le bas-foyer, après avoir opéré la réduction du minerai, obtenir au con-

8 ÉLABORATION DES MÉTAUX DÉRIVÉS DU FER

tact du combustible incandescent la carburation du fer produit, tout en le soustrayant à l'action réductrice de l'air insufflé. La marche de l'opération dépendait ainsi de la nature du minerai et surtout de l'habileté de l'ouvrier.

Jusqu'au *xii^e* siècle, l'*Europe* tirait de l'Orient tout l'acier qui lui était nécessaire ; à cette époque, des usines à acier s'établirent en *Europe* et particulièrement en *Angleterre*.

Il faut arriver à la fin du *xvii^e* siècle pour pouvoir discerner dans les procédés de fabrication une certaine régularité.

Le moment est venu, après ce premier aperçu général, de signaler la découverte qui devait exercer une influence décisive sur les procédés futurs d'élaboration des métaux ferreux.

On reconnut à la longue que les produits obtenus au bas-foyer se liquéfiaient mieux quand le four était plus élevé, parce que la surélévation de température y était plus continue. Aussi vit-on apparaître, principalement en *Allemagne* des fourneaux de hauteur plus grande, ayant à l'intérieur la forme de deux troncs de cône superposés et accouplés par leurs grandes bases et dont la hauteur atteignait souvent près de 4 mètres.

C'est au *xv^e* siècle, s'il faut en croire le mé-

tallurgiste allemand *Karsten*, que ces fourneaux qu'on peut considérer comme le rudiment du haut-fourneau moderne, commencèrent à se répandre.

Or, suivant la conduite du travail, les producteurs purent obtenir soit du fer, soit un produit liquide inconnu jusqu'alors, la *fonte*, composée principalement de carbure de fer.

De la découverte fortuite de la fonte datent la fabrication du fer à bon marché et sa vulgarisation.

Pour avoir de la fonte, il fallait mettre en contact avec du carbone, à haute température le métal réduit ; ce qui s'obtenait en augmentant la proportion du combustible relativement aux matières constituant l'apport en fer. Puis il fallait soustraire la fonte à l'action oxydante du vent en la conservant pendant la durée de l'opération sous la couche semi-fluide des produits d'élimination.

Pour avoir du fer, il fallait, au contraire, augmenter la charge du minerai relativement à celle du combustible et laisser couler les produits semi-fluides d'élimination pour que le magma spongieux en s'agglomérant dans le foyer, ne fût pas soustrait à l'action du vent.

Or, comme l'acier est un produit intermédiaire

entre le fer et la fonte, on conçoit qu'il était possible de l'obtenir en combinant judicieusement l'emploi de ces deux méthodes.

Enfin, on découvrait, à la même époque, le rôle des *fondants*, c'est-à-dire de corps d'addition qui, ajoutés au minerai, permettaient l'élimination des matières terreuses qu'il contenait en évitant le passage de l'oxyde de fer dans les sous-produits.

Le rendement en fer était ainsi majoré dans une forte proportion.

Nous ne saurions entrer plus avant dans l'étude des appareils métallurgiques et des méthodes d'élaboration qui furent successivement appliquées, car les perfectionnements ultérieurs sont trop intimement liés à l'origine des procédés actuels pour que nous puissions les exposer séparément.

L'étude des procédés d'*Élaboration des métaux ferreux* comprendra deux parties ; dans la première, nous traiterons des foyers métallurgiques, dans la seconde nous analyserons les réactions qui s'y opèrent.

Il ne sera question que des fers et des aciers, la fabrication de la fonte ayant fait l'objet d'un volume spécial de l'Encyclopédie.

FOYERS MÉTALLURGIQUES

Ce volume consacré aux *foyers métallurgiques* comprendra quatre titres :

TITRE PREMIER. — Agents calorifiques.

TITRE II. — Foyers à chauffage direct.

TITRE III. — Fours à gaz.

TITRE IV. — Matériaux réfractaires.

Il nous a paru rationnel avant d'entreprendre l'étude des foyers proprement dits, de la faire précéder de celle des *agents calorifiques*.

Dans le titre premier qui traite ce sujet, nous spécifierons d'abord la nature de ces agents et nous exposerons ensuite, en une synthèse rapide des lois de la combustion, les règles de leur utilisation en pratique industrielle.

TITRE PREMIER

AGENTS CALORIFIQUES

NOTIONS GÉNÉRALES

« Les agents calorifiques ou combustibles sont les substances susceptibles de se combiner avec l'oxygène en dégageant assez de chaleur pour que la combinaison une fois commencée en un point ne s'arrête plus et se propage progressivement dans toute la masse. »

La combustion est donc l'union, à température élevée, d'un corps combustible avec l'oxygène de l'air.

Au point de vue plus général, tout corps qui en s'unissant avec un autre dégage de la chaleur, peut être appelé *combustible* ; mais le plus souvent, le *combustible* est un composé de

carbone et d'hydrogène unis ou mélangés à d'autres éléments, le *comburant* est l'oxygène puisé presque toujours dans la masse atmosphérique.

Les seuls combustibles auxquels on a le plus ordinairement recours dans les usines sidérurgiques sont les végétaux modernes, le *bois* et la *tourbe*, ou les végétaux anciens plus ou moins profondément enfouis dans le sein de la terre, les *lignite*s, les *houilles*, les *bitumes*, solides, liquides ou gazeux et les *anthracites*.

Enfin, il faut signaler les huiles de pétrole dont l'emploi a tendance à se répandre et qui peut être avantageux selon la situation géographique des usines métallurgiques.

Il importe néanmoins avant de terminer ces notions générales de spécifier l'utilisation d'autres combustibles tels que le *silicium*, le *phosphore* etc., qui, par leur union avec l'oxygène, développent dans certaines conditions particulières une très grande quantité de chaleur.

Ces combustibles ne sont pas comme les précédents des combustibles d'apport ; ils ne sont pas placés au contact ou à part de la matière à échauffer, ils *existent tout formés dans cette matière même* y jouant le rôle de corps étrangers,

Quand ils s'unissent à l'oxygène, ils échauffent

la masse dans toutes ses parties par leur combustion intermoléculaire.

Leur étude complète ne saurait être entreprise que lorsqu'il sera question des procédés métallurgiques (*Bessemer acide* ou *basique*) meltant à profit la chaleur développée par leur combustion.

Toutefois, dans le Titre II, nous dirons quelques mots de l'appareil employé pour réaliser cette combustion intermoléculaire.

Dans le Titre premier, nous n'examinerons que les combustibles devant leur valeur à la présence exclusive du carbone et de l'hydrogène.

CHAPITRE PREMIER

DESCRIPTION DES COMBUSTIBLES

Nous devons nous borner à ne donner que des notions d'une grande généralité.

On distingue deux classes de combustibles : les *combustibles naturels* et les *combustibles artificiels*.

I. COMBUSTIBLES NATURELS

Nous établirons trois catégories dans les combustibles naturels, sans attacher une importance trop absolue à cette classification, à savoir :

Les *combustibles modernes*, dont la formation se continue de nos jours : bois et tourbes.

Les *combustibles fossiles* : lignites, houilles et anthracites.

Les *huiles de pétrole*.

1. Combustibles modernes. — Le bois n'est pas employé pour les opérations métallurgiques proprement dites ; il sert tout au plus à pratiquer quelques allumages pour la mise en marche de certains foyers.

La tourbe, produit de la décomposition et de l'entassement des mousses dans certaines vallées ou plateaux humides, ne peut servir pour les opérations qui demandent, le plus souvent, dans la sidérurgie actuelle, une température élevée.

On ne l'emploie qu'exceptionnellement pour certains chauffages en l'absence d'autres combustibles et jamais à l'état naturel. Il faut la dessécher et la façonner en briquettes.

Quand on s'en sert, on cherche à obtenir, par carbonisation incomplète, des gaz combustibles qu'on brûlera dans des appareils spéciaux.

2. Combustibles fossiles. — Ces combustibles contiennent principalement, abstraction faite des cendres, du carbone et de l'hydrogène, avec un peu d'oxygène et d'azote. L'hydrogène s'y trouve à l'état de combinaisons mal connues et très variées ; les produits de la distillation sont nombreux et divers.

Les *lignites*, constitués par une substance charbonneuse, à cassure résinoïde, proviennent de la décomposition de matières végétales dont

on peut encore distinguer la structure ; ils ont un emploi analogue à celui de la tourbe et sont cependant d'une valeur supérieure à cause de leur densité plus élevée.

Les *houilles* sont les combustibles minéraux des terrains secondaires inférieurs et des terrains primaires supérieurs. Par leur aspect, leur nature, leur composition et leur façon de se comporter au feu, elles forment une série parfaitement continue, depuis les lignites proprement dits jusqu'aux anthracites. En dehors des variétés limites, les houilles constituent néanmoins un ensemble bien caractérisé, tout à fait distinct des lignites et des anthracites.

La composition élémentaire des houilles est comprise entre les limites suivantes :

Carbone.	75 à 93
Hydrogène.	6 à 4
Oxygène avec 1 à 2 % d'azote.	19 à 3

le rapport $\frac{O + Az}{H}$ peut descendre de 4 à 1.

La première colonne appartient aux houilles voisines des lignites ; la seconde, aux charbons qui passent aux anthracites.

M. Gruner (1), dans son *Traité de métallurgie*,

(1) L. GRUNER. — *Traité de métallurgie*. Paris, 1875. Dunod, Editeur.

établit cinq types bien définis constituant une classification rationnelle, car elle repose avant tout sur les proportions relatives des matières volatiles et du charbon fixe et coïncide aussi avec la loi de progression du pouvoir calorifique que nous définirons plus loin et l'âge géologique de ces combustibles.

Le pouvoir calorifique croît, en effet, depuis les houilles dites sèches, qu'on trouve en première catégorie dans la classification établie, jusqu'aux houilles dites maigres qui sont placées en dernière catégorie.

Dans le même bassin houiller et sur la même verticale, on constate, en général, que les couches supérieures sont surtout riches en matières volatiles, les couches inférieures en carbone fixe.

Les catégories de la classification de Gruner sont les suivantes :

a) *Houilles sèches à longue flamme.* — Ce type est caractérisé par la nature spéciale du coke. Lorsqu'on distille la houille en morceaux, les fragments se fendillent mais conservent leur forme ; en tout cas, il n'y a ni fusion, ni agglomération, et lorsqu'on opère sur de la houille en poudre, le coke reste pulvérulent.

Les houilles sèches dégagent, à la distillation, beaucoup de gaz, mais ce gaz est peu éclairant.

Elles conviennent très bien pour le chauffage des fours dans lesquels la chaleur n'est pas produite par la combustion directe du charbon, mais par celle des gaz combustibles provenant de sa distillation ou carbonisation incomplète.

b) *Houilles grasses à longue flamme.* — Lorsqu'on carbonise ces houilles, les fragments changent de forme et se fondent ou bien, lorsqu'on opère sur de la poussière, les grains isolés s'agglomèrent en une masse unique plus ou moins poreuse.

Ces houilles dégagent, à la distillation, moins de gaz que les précédentes, mais le gaz est plus éclairant ; on s'en sert, en général, pour la fabrication du gaz d'éclairage et c'est ce qui leur a fait donner, dans le commerce, le nom de *charbons à gaz*.

c) *Houilles grasses proprement dites.* — Ces houilles sont très noires, à éclat vif et à structure lamelleuse ou plus ou moins feuilletée. Au feu, elles se ramollissent ou fondent même en partie à la façon de la résine ou du brai.

Ce menu, en s'agglutinant, forme voûte, dans le foyer du maréchal, au-dessus de la pièce à réchauffer ; de là, les noms de charbons de forge, fines-forges, houilles maréchaux donnés dans le commerce à cette variété.

Comme ce charbon s'agglomère de lui-même, on peut en brûler le menu sur les grilles des fours. Il y en a de très nombreuses variétés se distinguant entre elles par leur richesse en matières volatiles, par leur pouvoir calorifique et leur facilité plus ou moins grande d'agglomération.

Cette classe de combustibles pourra donner satisfaction aux besoins les plus variés : production de gaz d'éclairage ⁽¹⁾ ou de gaz à brûler dans les appareils métallurgiques, fabrication de coke métallurgique pour chauffages divers dans les usines, chauffage direct des foyers, etc.

d) Houilles grasses à courte flamme. — Ces houilles, peu riches en matières volatiles, ont un éclat moins vif que les précédentes, elles ont souvent l'apparence striée et sont formées de bandes alternativement brillantes et ternes.

A la distillation, les fragments collent et gonflent même, mais le coke produit est néanmoins compact et dur.

Ce sont les vraies houilles pour coke métallur-

(1) Le gaz d'éclairage a été employé avec succès dans quelques usines, notamment à Unieux (Loire), aux aciéries Jacob Holtzer, au chauffage des pièces avant la trempe, à l'aide de becs appropriés, soit dans des fours horizontaux, soit dans des fours verticaux.

gique, combustible presque uniquement réservé aujourd'hui aux hauts-fourneaux à fonte de fer.

e) *Houilles maigres ou anthraciteuses.* — Ces houilles sont noires et généralement sillonnées de stries ternes. Elles s'enflamment difficilement et brûlent avec une flamme courte, de faible durée et presque sans fumée.

Il y a grande difficulté à les faire brûler sur des grilles ; mais on peut, néanmoins, à l'aide d'appareils spéciaux, mettre à profit leur pouvoir calorifique élevé.

En général, on les utilise pour la fabrication des agglomérés ou pour la préparation des combustibles gazeux.

Le coke qu'elles produisent est souvent trop friable pour pouvoir être employé.

Pour terminer les notions forcément succinctes que nous devons donner sur les combustibles fossiles, il nous reste à dire quelques mots des *anthracites*.

Les *anthracites* présentent, à un plus haut degré, les propriétés des houilles maigres, leur couleur est noire ou grise.

Ces charbons s'enflamment difficilement et ne brûlent bien qu'en fragments entassés sur une certaine hauteur, les morceaux isolés s'éteignent rapidement.

On a pu les utiliser, dans certaines régions, en remplacement du coke, pour le chauffage des hauts-fourneaux.

3. Les huiles de pétrole. — Les premiers termes de la série des hydrocarbures saturés CH_4 , C^2H^6 , etc., jusqu'à C^4H^{10} , sont gazeux à la température ordinaire. A partir du cinquième terme C^5H^{12} , ces hydrocarbures se présentent sous forme de liquides mobiles, insolubles dans l'eau et se rencontrent en grande masse dans la nature. Par leur mélange, ils constituent les *huiles de pétrole* ou *pétrole brut*.

L'importance du pétrole, dans les arts industriels, est devenue considérable depuis près de cinquante ans. Passant sous silence ses applications si variées, nous nous contenterons de signaler son rôle comme combustible dans les usines métallurgiques.

Nous verrons ultérieurement comment les fours doivent être aménagés pour pouvoir récupérer utilement la chaleur dégagée par sa combustion méthodique.

Le pétrole diffère des houilles proprement dites, au point de vue de la composition chimique, spécialement par la proportion élevée de l'hydrogène qui atteint 12 à 15 %.

Son pouvoir calorifique, d'après Sainte-Claire-

Deville, approche de 10 000 calories à l'état brut et dépasse ce chiffre lorsqu'il est épuré par distillation. Il est bien supérieur à celui des houilles qui varie de 8000 pour les houilles sèches à 9 500 calories pour les houilles grasses.

Dans les pays où son prix est peu élevé, on s'en sert pour le chauffage des chaudières à vapeur, pour l'injection dans les hauts-fourneaux à fonte de fer comme agent combustible et réducteur, pour la fusion des métaux ferreux, pour le réchauffage des blocs de fer et d'acier destinés aux divers travaux de transformation à chaud, tels que le laminage et le pilonnage, etc.

En Amérique, le pétrole s'emploie beaucoup : dans la Pensylvanie, l'Ohio, l'Illinois et l'Indiana, le pétrole brut fait une concurrence souvent victorieuse au charbon de terre.

A Pittsburg, on dispose encore de quantités assez considérables de gaz naturel pour alimenter les verreries, les usines à fer et l'industrie métallurgique en général ; au fur et à mesure de sa diminution, le chauffage au pétrole prend sa place.

En Russie, le pétrole est fort employé dans les usines sidérurgiques ; on a même pu l'utiliser pour le chauffage des chaudières de certaines locomotives.

En Europe, en général, le prix du pétrole est beaucoup trop élevé pour qu'on puisse l'employer d'une façon courante dans les usines à fer et à acier ; cependant nous verrons plus tard quels sont les essais qui sont tentés dans cette voie.

II. COMBUSTIBLES ARTIFICIELS

Les combustibles artificiels employés en métallurgie sont le *charbon de bois*, les *agglomérés* et le *coke*.

1. Charbon de bois. — Le charbon de bois s'obtient, le plus souvent, par la carbonisation en meules d'après un procédé bien connu ; on a cependant construit des fours spéciaux en maçonnerie dans lesquels on obtient un rendement un peu meilleur et une économie de main d'œuvre.

La carbonisation, en éliminant toutes les matières volatiles, donne un combustible composé de carbone presque pur ayant un pouvoir calorifique très élevé.

Le charbon de bois contient 3 à 4 % de cendres ; elles sont alcalines et il s'y trouve un peu de phosphates mais pas de soufre. La faible proportion des cendres, leur fusibilité, l'ab-

sence du soufre, la présence des alcalis qui facilitent la fusion et l'épuration des matières, sont tout autant de causes de la supériorité de ce combustible pour certaines opérations métallurgiques.

Ce fut le seul combustible de la sidérurgie pendant de longs siècles : aujourd'hui encore, et pour des fontes de premier choix, il est employé avec succès.

Il présente toutefois l'inconvénient d'être très onéreux et de ne pas offrir une résistance suffisante à l'écrasement lorsqu'on l'emploie dans les hauts-fourneaux.

Les premiers hauts-fourneaux marchaient au charbon de bois ; la substitution de la houille à ce combustible marque le point de départ du développement de la sidérurgie en Angleterre et, plus tard, en Europe.

Les premiers essais de la substitution de la houille au charbon de bois datent de 1612 et furent faits par Sturtevant. En 1619, Dud-Dudley parvint à employer la houille pour fondre le minerai de fer à l'usine de Percent (Worcestershire) ; mais les faibles dimensions des hauts-fourneaux et le peu de puissance des soufflets employés à cette époque rendirent peu avantageuse la tentative de Dud-Dudley.

Le premier haut-fourneau à coke fut construit, en 1745, par Cookson à Whitewill (Yorkshire) et recevait le vent par des soufflets mus par une roue hydraulique. Mais des interruptions fréquentes, faute d'eau, causaient l'engorgement du fourneau qui ne tarda pas à être abandonné.

La découverte des *pompes à vapeur* fit heureusement surmonter les obstacles dus à la pénurie de la force hydraulique et, au bout de quelques années, la machine *Watt* (qui avait pu être construite grâce à la découverte de la fonte) remplaçait, dans la plupart des usines à fer, les *roues à palette*.

Dès que ces perfectionnements eurent été trouvés, les hauts-fourneaux au coke remplacèrent les hauts-fourneaux au charbon de bois qui, en 1796, étaient abandonnés en Angleterre.

En France, ce n'est que vers 1820 qu'on se décida à abandonner le charbon de bois comme combustible dans le haut-fourneau ; et, aujourd'hui, ainsi qu'on l'a dit plus haut, il n'y a plus que quelques hauts-fourneaux marchant au charbon de bois pour fournir des produits spéciaux, du reste fort recherchés dans certaines fabrications.

2. Agglomérés. — Les menus des houilles

maigres, impropres à la fabrication du coke et doués d'un pouvoir calorifique considérable, sont ceux que l'on emploie d'ordinaire pour la fabrication des agglomérés.

La substance qui sert de ciment pour réunir ces menus et qui, en même temps, n'augmente pas la teneur en cendres du combustible, est le *brai* sec ou gras.

La fabrication des agglomérés comprend la préparation de la pâte et la compression des briquettes, il ne nous appartient pas d'en donner le détail.

Ces agglomérés ont un excellent pouvoir calorifique, à cause des principes combustibles renfermés dans le brai qui entre dans leur constitution ; mais ils sont d'un emploi assez rare en métallurgie, car ils coûtent assez cher.

Étant donné leur forme régulière permettant de les empiler facilement, leur valeur comme combustible, ils sont néanmoins fort employés pour le chauffage des chaudières dans la marine et les chemins de fer.

3. Coke. — Toutes les houilles calcinées à l'abri de l'air donnent un résidu composé de carbone à peu près pur qu'on appelle *coke*.

Les houilles ne peuvent pas être employées dans les fours de grande hauteur dits fours à

cuve (*hauts-fourneaux* et *cubilots*) servant à produire la fonte ou à la refondre. Elles s'écrasent sous le poids des charges à traiter, s'opposent, en bouchant les interstices, au libre passage des gaz réducteurs et, quand elles sont grasses, se boursoufflent et s'attachent aux parois.

La transformation des houilles en coke offre encore l'avantage d'éliminer une partie du soufre qui s'y trouve à l'état de pyrite et qui produit des effets nuisibles dans la métallurgie du fer au point de vue du travail à chaud.

Le chauffage des locomotives a été, en France, au début des chemins de fer, un débouché important pour le coke. Ce n'est qu'en 1854 que l'emploi de la houille fut autorisé pour cet usage ; cependant, on rencontre encore quelques exploitations locales de chemin de fer ou de tramways qui consomment du coke pour leurs machines.

Le coke dit *métallurgique*, et dont nous nous occupons exclusivement, diffère du coke provenant des usines à gaz. Ce dernier sert surtout pour les chauffages domestiques et quelques chauffages industriels.

Le coke métallurgique doit être très dense et surtout d'une grande résistance à l'écrasement.

On ne peut satisfaire à ces deux conditions qu'en faisant un choix judicieux de la houille à transformer et en lui appliquant un procédé de carbonisation approprié.

Avant d'être introduit dans le four où doit se produire la carbonisation, le charbon doit être soumis à un broyage, on obtient ainsi un coke plus homogène ; en outre, la densité de ce combustible se trouve augmentée, car, sous l'action de la chaleur, il se forme, pendant la carbonisation avec le poussier de houille et par l'intermédiaire des gaz de la distillation, une pâte grasse et collante sans solution de continuité.

Il serait trop éloigné de notre sujet de donner la description des divers types de fours employés pour la fabrication du coke ; il nous suffira d'indiquer que, dans tous ces fours, une grande partie des gaz produits par la distillation est brûlée dans des gaines disposées parallèlement aux parois et procurant ainsi une économie considérable de combustible dans l'opération même de la carbonisation.

Il y a lieu de signaler aussi l'utilisation de la chaleur que possèdent les flammes perdues pour des chauffages spéciaux. En général, les installations pour la fabrication du coke comprennent un très grand nombre de fours rangés en batterie ;

la quantité de chaleur ainsi récupérée peut être considérable. Les produits brûlés des fours à coke ne dissipent plus en pure perte leur chaleur disponible dans l'atmosphère en s'échappant directement par la cheminée ; des conduits spéciaux les amènent à des orifices qui les distribuent, au préalable, sous les tubes de la chaudière à chauffer et c'est presque froids qu'ils finissent par s'échapper.

CHAPITRE II

UTILISATION RATIONNELLE DES COMBUSTIBLES

Nous nous proposons d'exposer, dans ce chapitre, les notions généralement admises sur l'utilisation rationnelle des combustibles ; de cette étude ressortira l'avantage considérable de l'emploi des combustibles sous forme gazeuse à l'aide des fours spéciaux employés surtout dans les usines sidérurgiques.

I. — LA COMBUSTION DOIT ÊTRE COMPLÈTE

Tout d'abord, quelques définitions sont nécessaires :

1. Combustion complète, pouvoir calorifique et température de combustion. — La combustion est dite *complète* quand la quan-

tité d'oxygène fournie est suffisante pour amener au maximum d'oxydation les divers éléments dont se compose le combustible ; elle est *incomplète* quand les produits de la combustion renferment encore du carbone libre, de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène libre ou partiellement carburé, etc.

Dans ce dernier cas, il y a évidemment perte de chaleur ; il faudra donc s'opposer à une combustion incomplète dès que le but poursuivi sera l'*utilisation immédiate et totale* de tous les éléments calorifiques contenus dans le combustible.

La réalisation d'une combustion intégrale n'est pas aussi facile qu'elle le paraît, comme on s'en rendra compte plus loin.

Le *pouvoir calorifique* d'un combustible est l'élément principal de sa valeur industrielle ; c'est la *quantité de chaleur exprimée ordinairement en calories, dégagée par la combustion d'un kilogramme*.

On le mesure dans les laboratoires à l'aide du calorimètre ; en pratique industrielle, on préfère souvent indiquer la quantité d'eau vaporisée par un poids donné du combustible lorsqu'on l'emploie à chauffer une chaudière bien établie.

On a cru longtemps que le pouvoir calorifique d'un combustible dépendait uniquement de sa nature chimique; on sait aujourd'hui qu'il varie également avec sa constitution moléculaire.

Les corps isomères n'ont pas, en général, le même pouvoir calorifique.

La valeur industrielle d'un combustible, dépend, en dernier lieu, de sa *température de combustion*.

On entend par là *la température théorique des produits de la combustion, en admettant que la chaleur développée soit uniquement absorbée par ces produits et que les chaleurs spécifiques restent invariables à toutes les températures*.

Cette double hypothèse ne se réalise jamais complètement.

La température de combustion est donc un maximum que l'on n'atteint pas, mais qui, cependant, permet d'apprécier la valeur relative des combustibles au point de vue de la température que l'on peut en attendre.

2. Difficulté de réaliser une combustion complète avec un combustible solide. — Supposons, ce qui est un cas très fréquent, et à peu près général, que le combustible solide soit

brûlé sur une grille (fig. 1), faisant abstraction de la combustion tout à fait spéciale des hauts-fourneaux ou fours à cuve et des bas-foyers.

a) *La combustion sur grille n'est pas comparable d'un point à un autre.* — Malgré les soins les plus minutieux apportés au service d'un foyer, on ne peut éviter de grandes inégalités locales dans les proportions relatives d'air et de matière combustible.

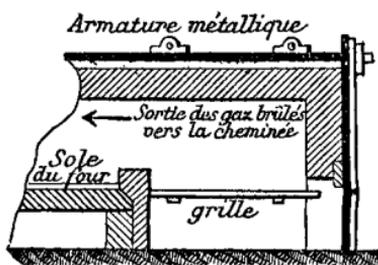


Fig. 1

En supposant que le chargement ait été absolument régulier à l'origine, les différences dans le tirage ou dans la composition même du combustible, entraînant une combustion irrégulière, ne tarderont pas à changer les conditions initiales.

Sans entrer dans le détail des règles d'un bon chargement, des variations du tirage et de l'espacement à donner aux barreaux de la grille, on peut dire qu'il y aura excès d'air là où la grille est peu couverte et où le combustible est en fragments volumineux, excès d'éléments combustibles là où la charge est haute ou fortement tassée.

Presque toujours le chargement a d'ailleurs lieu d'une façon intermittente ; en sorte que, non seulement les choses se passent à un moment donné d'une façon différente sur les divers points de la grille, mais encore il y a des inégalités périodiques après chaque nouvelle charge.

b) Les divers éléments d'un combustible solide n'exigent pas les mêmes conditions pour une combustion complète. — S'il ne s'agissait que de brûler un combustible solide obtenu à la suite d'une distillation tel que le coke ou le charbon de bois, il suffirait de prévenir la formation d'oxyde de carbone, ce qui n'est déjà pas facile ; mais lorsqu'il s'agit des houilles constituant le combustible normal des usines sidérurgiques, il y a à assurer la combustion complète des vapeurs et des gaz dégagés à la distillation concurremment avec celle du résidu solide carbonisé.

Or, les conditions d'une combustion complète qui conviennent aux uns ne conviennent pas aux autres.

Pour éviter une proportion élevée de gaz non brûlés, il faut, en général, un grand excès d'air. Au fond, cet excès ne nuit pas, si la fumée pouvait toujours être abandonnée à basse température. La chaleur momentanément absorbée

par l'excès d'air serait alors de nouveau utilisée ; mais, le plus souvent, il est impossible, dans les foyers industriels, de satisfaire à cette condition, de sorte que l'on est toujours placé dans cette alternative fâcheuse d'une perte de chaleur par excès d'air ou d'une perte causée par la présence dans la fumée de gaz non brûlés.

c) Le comburant et les éléments combustibles n'auront pas toujours la température nécessaire pour réagir les uns sur les autres. On n'ignore pas, en effet, que pour qu'une combustion vive se produise ou continue à s'opérer, il est nécessaire de maintenir dans le milieu où on l'a déterminée une température assez élevée.

Si l'on diminue un peu trop l'épaisseur de la couche combustible chargée sur la grille, l'air la traversera inégalement et peut-être trop vite pour qu'il puisse se chauffer jusqu'au degré nécessaire à la combustion complète des produits gazeux de la distillation.

La distillation qui s'effectue sur toute grille est une cause de refroidissement et comme elle atteint son maximum d'énergie à chaque nouvelle charge, il arrive habituellement qu'à ce moment les produits distillés comme le combustible soumis à la distillation, sont tous deux refroidis au-dessous de leur point d'inflamma-

bilité. La combustion est alors incomplète, les produits brûlés renferment des gaz, des vapeurs combustibles et du noir de fumée.

3. La combustion des combustibles gazeux peut être mieux assurée. — On verra à l'étude des fours à gaz, comment on peut transformer les combustibles solides ou liquides en combustibles gazeux.

Au point de vue de la chaleur totale ainsi engendrée, il est clair qu'on ne gagne absolument rien à opérer la gazéification, on perd même la quantité de chaleur résultant du passage du carbone à l'état d'oxyde de carbone puisqu'on ne se propose d'utiliser que la chaleur dégagée par la combustion des gaz combustibles dans un appareil distinct du gazogène.

Bien plus, si les gaz combustibles ainsi produits devaient se refroidir partiellement avant d'être brûlés, on perdrait nécessairement cette fraction de la chaleur totale.

Quoi qu'on fasse, il y aura toujours une fraction de la chaleur produite par la combustion partielle effectuée dans le gazogène qui sera perdue par conductibilité dans cet appareil même ou dans le parcours effectué par les gaz du gazogène au four où doit s'accomplir leur combustion.

Les avantages du combustible gazeux n'en

sont pas moins bien établis et résultent des causes énumérées ci-dessous.

a) *Avec les gaz, il est possible de régler la quantité d'air nécessaire à la combustion complète et de multiplier les points ou surfaces de contact du gaz et de l'air comburant.* — On pourra, en effet, pour satisfaire à cette condition, imaginer des dispositifs variés en faisant arriver, dans la chambre où doit s'opérer la combustion, l'air et le gaz en lames parallèles ou croisées et alternantes de faibles sections, ou bien on fera pénétrer l'air en jets isolés au milieu du gaz, etc.

b) *Les gaz pourront être chauffés au préalable.* — De cette façon, on assurera, dans tous les cas, leur inflammation ; on a dit plus haut, en effet, que dans la combustion sur grille des causes interviennent, s'opposant, à un moment donné, à l'inflammation certaine des gaz combustibles.

Ce chauffage préalable pourra être assuré en disposant aux points d'arrivée du gaz, une enceinte à parois incandescentes, fortement échauffée, par exemple, par les produits brûlés se rendant à la cheminée, par un foyer allumé auxiliaire et à combustible solide, mais de qualité inférieure, etc.

c) On pourra enfin développer une chaleur d'autant plus intense que l'air et le gaz combustible auront été portés à une température plus élevée avant leur combustion. — Nous nous proposons de montrer que, par ce chauffage préalable de l'air et du gaz, on élève, dans de très fortes proportions, la température de combustion.

C'est ainsi qu'on arrive à produire couramment, dans les fours à gaz, des températures supérieures à celles que donnaient, dans les anciens fours, les meilleurs combustibles.

D'un autre côté, il est de toute évidence qu'on ne peut chauffer à haute température, avant de le brûler, un combustible solide.

II. DE L'ÉLEVATION DE LA TEMPÉRATURE DE COMBUSTION PAR LE CHAUFFAGE PRÉALABLE DU COMBUSTIBLE ET DU COMBURANT

La température de la combustion est fonction :

De la nature du combustible ;

De la nature du comburant ;

Des proportions relatives du comburant et du combustible ;

Des températures initiales du comburant et du combustible.

C'est ce dernier point seulement que nous allons examiner.

1. Hypothèse nécessaire pour établir la valeur de la température de combustion.

— En général, la chaleur Q dégagée par un foyer quelconque peut se diviser en deux parties :

La chaleur R rayonnée sur les parois de l'enceinte où s'opère la combustion et qui est absorbée et transmise par ces parois ;

La chaleur G employée à élever la température des gaz de la combustion.

La chaleur R n'est jamais nulle, mais on conçoit que, suivant le mode de construction des foyers ou d'utilisation du combustible, elle puisse être réduite au minimum.

Supposons que le foyer soit placé dans une enceinte en maçonnerie de nature appropriée et assez épaisse pour qu'il ne se perde pas de chaleur à travers ses parois.

Dans ces conditions, la température à laquelle sont portées les parois est à peu près la même que celle du foyer ; il y a rayonnement réciproque à la même température, les parois rendent en chaleur ce qu'elles en reçoivent.

Comme $R = 0$, toute la chaleur dégagée par

la combustion est employée à élever la température des gaz qui se dégagent du foyer et l'on a ;
 $Q = G.$

Telle est l'hypothèse nécessaire à laquelle il faut consentir pour pouvoir définir, comme on l'a fait plus haut, la température de combustion et la calculer.

2. Expression de la température t de combustion quand $R = 0.$ — Pour établir la valeur de t , il faut, d'une part, déterminer Q et, d'autre part, connaître la nature et fixer le poids des produits de la combustion, ces produits devant récupérer la quantité de chaleur Q par leur élévation de température.

a) On suppose le combustible et le comburant à la température initiale de 0° . — Soit un corps composé d'un mélange de plusieurs éléments combustibles dont les poids sont P_1, P_2, P_3, \dots

Soient q_1, q_2, q_3, \dots , les pouvoirs calorifiques supposés mesurables de chacun de ces éléments.

Soient, d'autre part, p_1, p_2, p_3, \dots , les poids des produits respectifs de la combustion et c_1, c_2, c_3, \dots , leurs chaleurs spécifiques.

L'expression $P_1q_1 + P_2q_2 + P_3q_3, \dots$, représentera la quantité totale de chaleur fournie au foyer par la combustion.

C'est cette chaleur qui élève au dessus de 0° la température des produits de la combustion.

La chaleur absorbée par les produits de la combustion sera, si t est leur température commune, lors de la combustion :

$$p_1c_1t + p_2c_2t + p_3c_3t + \dots \text{ ou } t.\Sigma.pc.$$

Dans l'hypothèse faite de parois imperméables à la chaleur, on aura :

$$\Sigma.Pq = t.\Sigma.pc,$$

d'où

$$t = \frac{\Sigma.Pq}{\Sigma.pc}.$$

Il importe de ne pas oublier que cette valeur de t suppose que $R = 0$, et que les chaleurs spécifiques ne varient pas avec la température.

D'un autre côté, les pouvoirs calorifiques sont supposés déterminés en admettant que la combustion soit complète ; on a vu antérieurement qu'il était difficile de la réaliser.

b) On suppose le combustible et le comburant à une température initiale supérieure à 0°. — Le combustible et le comburant peuvent être chauffés à un certain degré de température, et ils le sont toujours dans les foyers, avant de réagir l'un sur l'autre.

Pour apprécier l'influence de cet apport calorifique, il suffira d'ajouter au numérateur de l'expression de t , les chaleurs propres que possèdent le comburant et le combustible avant de s'unir.

Soient P , le poids du combustible, C , sa chaleur spécifique, θ , sa température initiale quand on l'introduit dans le foyer ; soient de même P' , C' , θ' , les quantités correspondantes pour le comburant.

L'expression $PC\theta + P'C'\theta'$ sera la quantité de chaleur renfermée dans le combustible et le comburant *en comptant à partir de zéro*.

La chaleur totale dégagée par la combustion vaudra $PC\theta + P'C'\theta' + \Sigma.Pq$.

Si l'on suppose $R = 0$ on devra avoir

$$PC\theta + P'C'\theta' + \Sigma.Pq = t.\Sigma.pc$$

d'où

$$t = \frac{PC\theta + P'C'\theta' + \Sigma.Pq}{\Sigma.pc}.$$

Lorsque les combustibles laissent des cendres, ce qui est le cas des combustibles solides, $\Sigma.pc$ doit, bien entendu, renfermer un terme exprimant la chaleur retenue par ce résidu solide chauffé, comme les produits gazeux de la combustion, jusqu'à la température t .

La formule donnant t est, sans aucun doute, une *formule limite*, qu'on pourra appliquer avec d'autant moins d'erreur qu'on aura agi pour déterminer ses différents termes avec plus de rigueur.

Elle comporte un enseignement précieux.

Plus θ et θ' seront élevés, plus t le sera ; et, par suite, pour avoir de hautes températures, il y a intérêt à chauffer le combustible et le comburant, ou simplement l'un ou l'autre, avant leur combinaison.

C'est, par exemple, le cas des hauts-fourneaux à fonte de fer, dans lesquels on injecte par les tuyères, pour déterminer la combustion du coke, de l'air porté à haute température par son passage dans une chambre à briques préalablement chauffée par la combustion d'une partie des gaz combustibles s'échappant du gueulard.

Nous verrons ultérieurement, à l'étude des fours à gaz, comment, en s'appuyant sur les considérations théoriques précédentes, on peut expliquer le grand rendement calorifique de ces appareils.

3. Mesure du pouvoir calorifique. — Il ne nous appartient pas de donner sur la mesure des pouvoirs calorifiques, un aperçu même général.

Nous nous contenterons de signaler les expériences calorimétriques de la plus haute importance faites à ce sujet par MM. Favre et Silbermann en 1853 et celles plus récentes de M. Berthelot.

Enfin nous énoncerons simplement les lois approchées de Dulong et de Welter, permettant, dans certains cas, d'être fixé sur les valeurs approximatives des pouvoirs calorifiques.

Loi de Dulong

La chaleur dégagée par un combustible est égale à la somme des quantités de chaleur dégagées par la combustion des éléments qui le constituent, en ne tenant pas compte toutefois de la portion d'hydrogène qui peut former de l'eau avec l'oxygène du combustible.

Loi de Welter

La chaleur dégagée dans la combustion est proportionnelle à la quantité d'oxygène absorbée.

TITRE II

FOYERS A CHAUFFAGE DIRECT

Nous appellerons foyers à *chauffage direct* ceux dans lesquels le combustible à brûler est utilisé tel qu'il est, qu'il soit naturel, bois, houille, pétrole, etc., ou qu'il soit artificiel, coke, charbon de bois, etc., sans qu'on lui fasse subir, pour son utilisation immédiate dans un appareil auxiliaire faisant partie constitutive du foyer lui-même, une préparation spéciale destinée à le transformer en combustible gazeux.

Nous distinguerons dans les foyers à chauffage direct ceux dans lesquels le combustible est en contact avec la matière en traitement et ceux dans lesquels il en est séparé.

NOTA. — Les fours électriques ont déjà fait leur apparition en *sidérurgie*, mais leur emploi pour la fusion ou l'élaboration des métaux ferreux est encore trop restreint pour que nous puissions étudier leur constitution. Du reste, nous renvoyons le lecteur pour cette étude spéciale aux deux volumes de l'Encyclopédie, intitulés :

AD. MINET. — *Électro-métallurgie*,
— — *Fours électriques*.

CHAPITRE PREMIER

FOYERS DANS LESQUELS LE COMBUSTIBLE EST EN CONTACT AVEC LES MATIÈRES EN TRAITEMENT

Nous rattacherons à l'étude de ces foyers ceux auxquels nous avons fait allusion au début du Titre premier, dans lesquels le combustible est constitué par les éléments étrangers (silicium et phosphore notamment) existant tout formés dans la matière en traitement et dont la combustion intermoléculaire donnera la chaleur nécessaire à la réussite de l'opération.

I. BAS-FOYERS ET FOURS A CUVE

Dans les bas-foyers et dans les fours à cuve, le combustible est au contact de la matière en traitement.

a) *Bas-foyers*. — Le bas-foyer, ainsi qu'on l'a dit dans les préliminaires est, à quelques perfectionnements près, le même appareil qui servait autrefois à la production du fer par le traitement direct du minerai au contact du combustible.

La fonte fut ensuite substituée au minerai, et c'est elle qui est encore aujourd'hui, dans les appareils actuellement existants, fondue d'abord au contact du charbon de bois et exposée ensuite à l'action fortement oxydante d'un jet d'air atmosphérique lancé par des tuyères.

Réservant pour l'étude des *Réactions métallurgiques* la discussion de ce procédé, nous nous contenterons d'une description sommaire des éléments du bas-foyer.

La partie essentielle de cet appareil est le *creuset*.

Le creuset est construit avec des plaques en fonte de 5 à 10 millimètres d'épaisseur résistant mieux aux corrosions que les plaques de grès employées à l'origine ; il comprend un espace à peu près parallépipédique.

La plaque qui supporte la ou les tuyères s'appelle *warme*, celle qui est opposée aux tuyères prend le nom de *contre-vent*.

La plaque de travail est horizontale et s'appuie

sur une plaque verticale dite de *chio* dans laquelle on ménage un ou plusieurs trous destinés à livrer passage aux produits d'élimination.

Les *bas-foyers*, appelés aussi *feux d'affinerie*, furent d'abord découverts (*fig. 2*), puis disposés sous de vastes cheminées dont la partie inférieure, terminée en hotte (*fig. 3*), couvrait 4 à 5 mètres carrés.

On construisit ensuite des feux couverts en

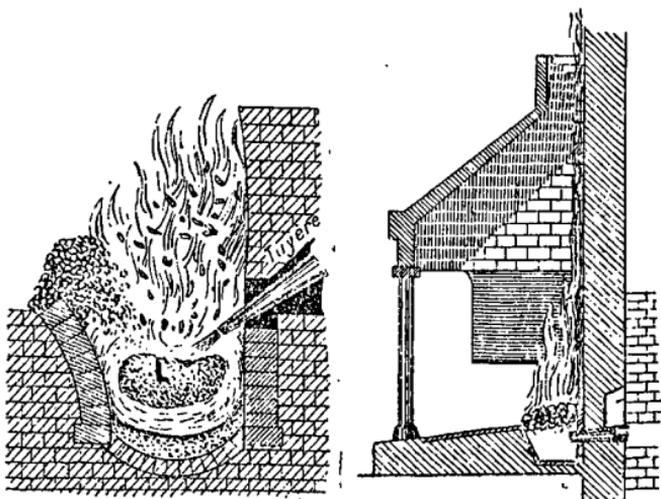


Fig. 2. — Foyer catalan

Fig. 3. — Feu comtois

entourant le creuset d'une cage fixe en maçonnerie réfractaire, à parois verticales, supportant une voûte pourvue d'une ouverture pour le

passage des gaz chauds. Deux des parois verticales étaient munies d'ouvertures, soit pour le travail, soit pour le chargement.

Les éléments qui influent le plus sur l'activité de la réaction dans le bas-foyer sont sa *profondeur* et l'*inclinaison des tuyères*.

Dès que le foyer est peu profond et la tuyère peu plongeante, le métal fondu, occupant à l'origine de la fusion de la fonte le fond du foyer, est plus ou moins soustrait à l'action oxydante du vent; l'élimination des éléments étrangers de la fonte tendant à transformer celle-ci en un produit pâteux, ferreux ou aciéreux, est alors lente et souvent incomplète. Au contraire, une faible profondeur associée à un vent fort et plongeant favorise l'oxydation. De très faibles changements, sous ce double rapport, peuvent notablement modifier la nature de l'opération.

Autour de chacun des jets d'air pénétrant par les tuyères dans le bas-foyer, la combustion est concentrée dans un espace dont la forme générale est celle d'un ellipsoïde, plus ou moins effilé au voisinage des tuyères.

Dans cette région où le combustible brûle autour des jets de vent, on peut distinguer trois zones concentriques.

La *zone centrale*, dans l'axe du jet, contient,

faute de chaleur, un excès d'air, c'est-à-dire de l'oxygène non encore combiné. C'est la *zone oxydante* proprement dite.

Autour, vient le *lieu de la combustion*, où la température atteint son maximum, maximum limité par les phénomènes de dissociation.

En approchant de la *zone extérieure*, plus ou moins réductrice, la température baisse, les éléments se recombinent, et l'on trouve alors comme produit dominant, de l'acide carbonique, là où l'épaisseur de la couche combustible est faible, de l'oxyde de carbone là où elle est forte.

Les étendues relatives des trois zones dépendent de la porosité ou plutôt de la combustibilité du charbon qui brûle.

Selon la nature du métal, fer ou acier, à obtenir de la fonte en traitement et selon les phases de l'opération, on approche plus ou moins cette fonte de la zone oxydante, neutre ou réductrice.

Les bas-foyers élaborent le fer et l'acier à l'état de magma spongieux plus infusible que la fonte dont on les a tirés ; ce magma ou loupe contient, dans les interstices des grumeaux ferreux ou aciers, les produits semi-fluides d'élimination que le forgeage expulsera, en soudant entre eux ces grumeaux et donnant le fer ou acier brut.

La conduite régulière et économique des bas-foyers est très difficile et très délicate. Si à cela on ajoute l'inconvénient des fortes pertes de chaleur inévitables, par contact et par rayonnement ; si on considère, d'autre part, qu'il n'est pas possible, sans danger pour la pureté du métal final, de substituer la houille au charbon de bois, on comprendra que ces foyers soient irrévocablement appelés à disparaître.

b) *Fours à cuve*. — Les fours à cuve sont toujours soufflés et se composent d'une enceinte permanente, appelée *cuve*, dont la hauteur varie de quelques mètres à 30 mètres quelquefois, selon que ces appareils sont des *fours à manche*, des *demi-hauts-fourneaux* ou des *hauts-fourneaux*.

Ils sont pourvus, vers le haut, d'un orifice de chargement appelé *gueulard*, dans le bas, de deux ou plusieurs ouvertures dont les unes servent de *trous de coulée*, les autres, de *tuyères* pour l'introduction du vent.

Ces fours reçoivent, avec la charge de matières minérales (minerais et fondants appropriés), la charge de combustible (coke) dont la combustion déterminera la réaction utile.

Il ne nous appartient pas de donner une idée, même approchée, des lois fort complexes qui ré-

gissent leur combustion ; comme ils constituent l'appareil unique d'élaboration de la fonte, ils ont été étudiés en détail dans le volume de l'Encyclopédie intitulé *Fabrication de la fonte*.

Nous ne les signalons que pour mémoire.

II. APPAREILS A COMBUSTION INTERMOLECULAIRE

Les nécessités d'une exposition didactique nous conduisent à aborder, dans ce chapitre, l'étude des foyers dans lesquels le combustible est constitué par les éléments étrangers existant tout formés dans la matière en traitement.

Ces foyers comprennent la cornue *Bessemer* et les appareils similaires dus à d'autres inventeurs et qui en dérivent.

Laissant de côté la genèse de l'invention et l'étude du mécanisme de la combustion dont il va être question, nous donnerons un rapide aperçu sur l'invention elle-même et sur l'appareil imaginé pour sa mise en œuvre. Puis, plus tard, lorsque nous discuterons les diverses réactions produites dans les élaborations des métaux ferreux, nous compléterons ces quelques notions qu'à dessein nous laissons fort sommaires.

C'est en 1856, le 12 février, que sir Henry Bessemer, dans une séance mémorable de la *British Association* réunie à Cheltenham, faisait sa première communication sur un procédé nouveau d'élaboration des métaux ferreux sous le titre paradoxal de *Fabrication du fer et de l'acier sans combustible*.

Bessemer s'arrêtait au principe suivant :

Pour transformer la fonte en fer ou en acier, il suffit de faire passer, dans une sorte de grand creuset ou de cornue appelée convertisseur et construite en matériaux réfractaires, au travers de la fonte en fusion, un très grand nombre de minces jets d'air fortement comprimé.

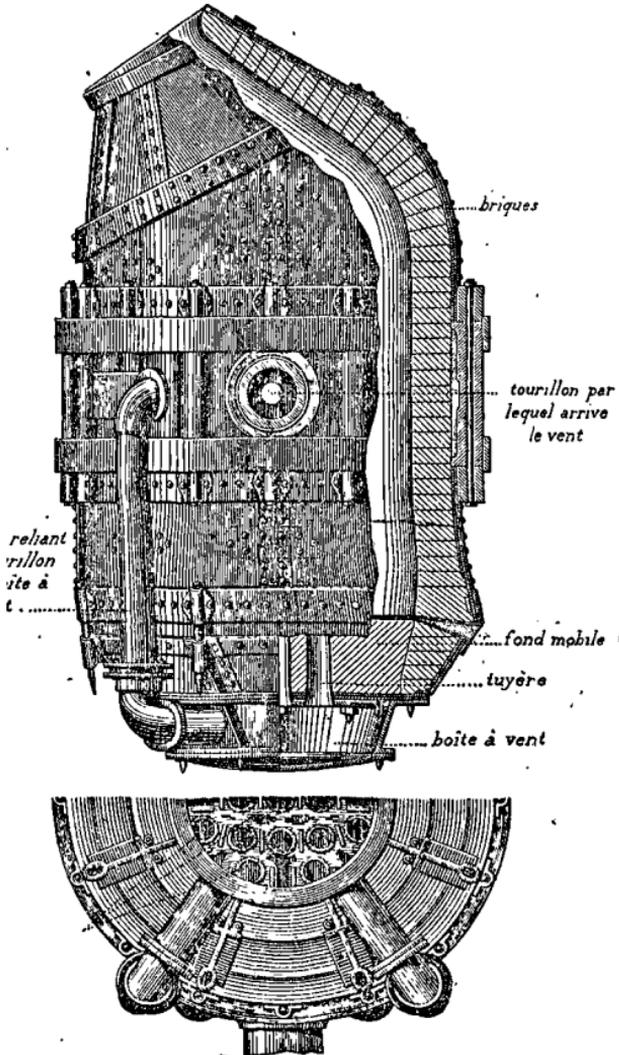
La fonte venant directement du haut-fourneau ou d'un appareil de deuxième fusion est versée dans la cornue ; si on la brasse énergiquement, par un courant d'air sous pression, on oxydera le silicium, le manganèse, etc., qu'elle contient et dont il faut la débarrasser pour obtenir un acier ou un fer plus ou moins doux. Ces éléments étrangers produisent, pour la plupart, des oxydes fixes, SiO_2 , Mn_2O_3 , MnO ... restant dans la cornue et apportant au bain fluide, si leur pouvoir calorifique est élevé, une grande quantité de chaleur,

On craignit, à l'annonce du procédé, qu'en faisant passer de l'air froid au travers d'un bain de fonte, le fer ne se figeât avant que la combustion fût assez développée pour combattre le refroidissement. Les lois concernant les pouvoirs calorifiques étaient encore peu vulgarisées, et il ne faut pas oublier qu'une quinzaine d'années à peine s'étaient écoulées depuis les travaux si remarquables de Joule et de Robert Mayer, sur l'équivalence de la chaleur et du travail.

Il semblait que l'opération s'effectuait sans dépense apparente de combustible ; mais, en réalité, en dehors de la chaleur développée par la combustion des combustibles intermoléculaires de la fonte, il faut remarquer que du combustible est toujours consommé sous les chaudières de la machine soufflante lançant l'air à travers le bain de fonte.

Et ce qu'il faut dire, c'est que l'énergie calorifique ainsi dépensée, et plus objective, se transforme d'abord en énergie mécanique lançant l'air de l'atmosphère dans l'appareil, puis finalement se convertit partiellement en énergie chimique pour la formation d'oxydes dont la chaleur de formation est récupérée par le bain.

La cornue Bessemer où *convertisseur* (fig. 4)



a des dimensions fort variables selon l'importance des charges qu'on y veut traiter ; on en rencontre un grand nombre ayant 1^m,50 de diamètre et 2 à 3 mètres de hauteur.

L'enveloppe est constituée par des plaques de 15 millimètres d'épaisseur assemblées à boulons et est garnie intérieurement d'une couche de 25 à 30 centimètres de sable argileux très réfractaire, fortement damé, ou, plus rarement, d'une épaisseur de briques superposées à plat.

On verra plus tard, lors de l'étude approfondie des réactions qui s'opèrent dans la cornue, quel est le rôle capital joué par la nature de ce revêtement.

Le convertisseur est supporté extérieurement par une frette en fer munie de deux tourillons reposant sur des paliers en fonte.

L'un des tourillons est *creux*, il sert de conduit au vent : il communique, à cet effet, d'un côté avec la machine soufflante, de l'autre, au moyen d'un tuyau recourbé, avec le fond du convertisseur formant *boîte à vent*.

L'autre tourillon est *plein* et porte un pignon engrenant avec une crémaillère fixée à l'extrémité horizontale d'un cylindre hydraulique. La cornue peut ainsi prendre un mouvement de rotation autour de l'axe de ses deux tourillons.

De la boîte à vent l'air pénètre dans la cornue en s'y distribuant par un très grand nombre de petits canaux parallèles ménagés dans des organes spéciaux appelés tuyères, réfractaires à la chaleur. Le nombre des canaux varie entre 100, 150, 200 et même davantage. Le haut de la cornue se termine en forme de col ou de bec légèrement infléchi suivant un plan normal à l'axe de rotation, ce qui facilite le chargement et la coulée et permet de diriger les flammes et les produits gazeux de l'affinage sous la hotte d'une cheminée d'évacuation élevée à demeure au-dessus de l'appareil. La pression de l'air lancé dans la cornue varie de 114 à 152 centimètres de mercure.

Une usine Bessemer comprend, en général, une ou plusieurs paires de cornues conjuguées.

Dans l'arrangement recommandé par Bessemer, et généralement adopté dans les usines d'Europe, les deux cornues sont *en face l'une de l'autre* et la fosse de coulée est réduite à une demi-circonférence.

Dans les nouvelles aciéries américaines, on place les cornues parallèlement et peu éloignées l'une de l'autre ; la fosse de coulée se compose alors d'un cercle presque entier et les trois quarts en sont libres pour le maniement des

réceptacles destinés à recevoir le fer fondu ou l'acier.

Le mouvement de rotation des convertisseurs s'obtient, presque toujours, par l'eau sous pression agissant sur un piston couché dont la tige horizontale, prolongée en crémaillère, actionne directement le pignon-tourillon de la cornue. L'autre tourillon, qui est creux, ouvre et ferme, comme un robinet, le passage du vent. En couchant la cornue horizontalement, le vent cesse d'y arriver ; en la relevant, on rétablit la communication entre la boîte à vent et la machine soufflante.

A côté des convertisseurs Bessemer proprement dits dont la contenance varie de 5, 7, 10 tonnes et même davantage, nous signalons, pour mémoire seulement, les cornues de faible tonnage pour les petites aciéries dérivant du même principe et n'en différant que par des détails d'organisation.

Ces petits convertisseurs, généralement à soufflage latéral, sont désignés par le nom de leur inventeur : nous citerons la cornue Clapp et Griffiths, le convertisseur Robert, la cornue Walrand-Légénisel, le convertisseur Tropenas.

La contenance de ces appareils varie de 300 kilog. à 2 ou 3 tonnes et la pression du vent de 25 à 50 centimètres de mercure.

CHAPITRE II

FOYERS DANS LESQUELS LE COMBUSTIBLE EST SÉPARÉ DES MATIÈRES EN TRAITEMENT

Les fours à foyer indépendant comprennent ceux dans lesquels le combustible est solide et ceux dans lesquels il est liquide.

Tout combustible solide ou liquide est, dans ce cas, brûlé sur une grille, c'est-à-dire sur un support à jours laissant passer l'air.

Les fours qui sont alimentés par le gaz combustible engendré par un gazogène sembleraient, *a priori*, devoir être rattachés à cette classe ; mais leur organisation générale et les conditions de leur bon fonctionnement diffèrent tellement de celles des fours à foyer indépendant utilisant le combustible solide ou liquide qu'il est nécessaire de les étudier séparément. C'est ce qui a été fait dans le Titre III de ce volume, où l'on traite des *Fours à gaz*.

I. FOYERS A GRILLE A COMBUSTIBLE SOLIDE

Il ne nous appartient pas de nous étendre sur la classification des foyers à grille employés, en métallurgie générale, sous des formes très variées à la production des différents métaux ; nous devons restreindre les notions sur cet important sujet aux applications sidérurgiques.

a) *Distinction des divers foyers à grille employés en sidérurgie.* — Cette distinction est basée sur l'examen de la situation respective du foyer et de l'espace où se placent les matières à échauffer, espace appelé *laboratoire*.

Dans le plus grand nombre des cas, le laboratoire est placé immédiatement à la suite du foyer, une voûte unique les couvre tous deux. C'est, en réalité, une seule et même enceinte, simplement divisée en deux parties inégales par une sorte de cloison transversale, s'opposant au mélange de la matière minérale et du combustible.

Ce sont les *fours à réverbère*.

On donne, par contre, le nom de *fours à galères*, aux appareils dont le laboratoire s'étend

à droite et à gauche du foyer, celui-ci occupant le centre ou l'axe du four.

Ce genre de fours n'est d'aucun usage, en général, dans les usines sidérurgiques ; aussi ne le citons-nous que pour mémoire.

Dans d'autres appareils, le foyer et le laboratoire constituent, en réalité, deux enceintes distinctes pourvues chacune de voûtes spéciales et communiquant entre elles par des carneaux plus ou moins prolongés. Cette catégorie comprend les nombreuses variétés de *fours à dôme*, parmi lesquels la sidérurgie utilise un type spécial servant à la cémentation (*carburation directe à haute température*) des barres de fer doux et dont il sera question ultérieurement. On peut aussi classer, dans la catégorie précédente, les *fours à cuve munis de chauffes latérales*, utilisés en métallurgie générale pour la calcination des minerais, des briques, etc. ; nous ne saurions en parler sans sortir des limites de notre sujet.

b) *Fours à réverbère*. — Ce sont les fours les plus employés dans les usines sidérurgiques ; ils comprennent trois parties principales qui sont : le *foyer* qui produit la chaleur, le *laboratoire* qui l'utilise, et la *cheminée* ou la *soufflerie* qui entretient la combustion.

La métallurgie des métaux ferreux les utilise sous des dénominations spéciales, soit pour convertir la fonte en fer ou en acier à l'état pâteux sous forme de loupe ou magma spongieux (*fours à puddler*), soit pour travailler ensuite par voie de forgeage ou de laminage les fers et les aciers (*fours à réchauffer*), soit pour soumettre les aciers à des traitements calorifiques déterminés (*fours de recuit et de réchauffage avant trempe*), soit pour refondre la fonte produite au haut-fourneau (*fours de deuxième fusion*), etc.

Cette énumération suffit pour montrer l'impossibilité de donner le détail de l'organisation de ces types si nombreux ; il nous suffira de considérer les fours présentant des dispositions caractéristiques et de signaler les modifications qu'ils sont susceptibles de recevoir pour tel ou tel usage.

Prenons, pour exemple, le *four à puddler*.

L'élaboration du fer ou de l'acier au charbon de bois à l'aide du bas-foyer était onéreuse ; aussi, quand ce combustible devint rare, dut-on chercher à le remplacer par le coke qu'on avait déjà réussi à employer dans les hauts-fourneaux, puis par la houille.

Mais l'emploi du coke ou de la houille conduisit à rechercher un modèle de four dans

lequel le combustible n'aurait plus de contact avec la fonte à traiter afin d'éviter l'incorporation au fer ou à l'acier élaborés du soufre toujours contenu dans le coke ou dans la houille ; le soufre étant un élément fort nuisible aux propriétés utiles des métaux ferreux.

Par l'adoption d'un foyer indépendant, on n'avait plus à compter sur les nombreux tours de main exigés par le travail au bas-foyer ; on pouvait, en outre, supprimer le soufflage.

Henry Cort, en 1784, résolut le problème en choisissant, pour son nouvel appareil, le type ordinaire des fours à réverbère. Sa méthode imposait un brassage énergique de la fonte en traitement, d'où le nom de *puddlage* qui servit à la désigner de *to puddle*, brasser.

Le *foyer* comprend le foyer proprement dit et le cendrier séparés l'un de l'autre par la grille.

Le cendrier est libre ou fermé ; on le ferme à l'aide d'une porte lorsque le four est soufflé pour éviter les pertes de vent, il est libre lorsque le tirage est provoqué par une cheminée. La cloison qui sépare le foyer du laboratoire est le *pont* ou *grand autel* souvent refroidi dans toute sa longueur par un courant d'air ou d'eau circulant dans un conduit métallique logé dans

l'épaisseur des briques de premier choix dont il est constitué.

Le *laboratoire* reçoit la matière minérale qui doit subir l'action de la chaleur ; cette matière sera la fonte à transformer en fer ou en acier dans le four à puddler, la fonte à refondre dans les fours de deuxième fusion, les blocs de fer ou

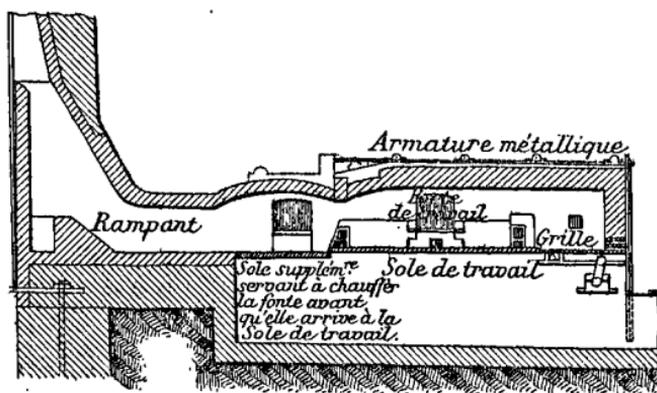


Fig. 5. — Four à puddler

d'acier à forger ou à laminier dans les fours à réchauffer, etc. La surface sur laquelle prend appui la matière minérale est la *sole* qui sera *plane* quand la matière à échauffer doit rester solide et plus ou moins *concave* quand elle devra fondre. La première sole de Cort était plane, ainsi que l'indique la *fig. 5*, mais on ne tarda pas à reconnaître l'inconvénient de ré-

pandre sur une trop grande surface la fonte liquide, et cela à cause de son oxydation trop facile et des difficultés de sa transformation.

Le laboratoire s'étend du pont jusqu'au *rampant* qui est le conduit allant directement à la cheminée. Si l'on y veut une *température uniforme*, il faudra en rapprocher les parois latérales et abaisser la voûte près du rampant, ce qui reviendra à diminuer progressivement la section transversale du foyer au rampant.

Si l'on veut une *température élevée* à l'une des extrémités et *faible* à l'autre, il faudra un laboratoire très long et à largeur uniforme.

On voit donc, par les considérations qui précèdent, quels sont les facteurs variables sur lesquels on peut agir suivant la nature du traitement qu'on se propose d'effectuer.

La voûte et les parois latérales des fours à réverbère sont ordinairement établies en briques ; la nature de la sole étant subordonnée à l'opération qui s'y accomplit.

Dans les *fours à puddler*, la sole en sable de Cort a été remplacée par une sole en fonte recouverte d'oxydes de fer et refroidie, le plus souvent, par un courant d'air ou d'eau.

La sole des *fours à réchauffer* est constituée par du sable quartzeux glacé sur un fond de

briques ; celle des *fours de deuxième fusion* est souvent constituée par un pisé, etc.

Afin de provoquer des coups de feu ou de ralentir à volonté l'activité de la combustion, on place le plus ordinairement un *registre* dans le rampant ou un *clapet* sur le haut de la cheminée.

Les flammes et les gaz chauds sont souvent utilisés à leur sortie du rampant et avant de gagner la cheminée en les faisant passer sous la sole d'autres fours ou sous des chaudières à vapeur.

La construction de la cheminée est soumise à des règles qu'il ne nous appartient pas d'indiquer et qui ressortissent à la physique générale.

c) *Modifications des fours à réverbère.* — Il est un certain nombre de modifications aux dispositions générales des fours à réverbère qu'il importe de signaler.

En ce qui concerne la sole, on rencontre des fours à puddler dans lesquels la sole est mobile. Dans le four Pernot, par exemple, la sole circulaire composée d'une cuvette en forte tôle à fond plat et à parois cylindriques, munie d'un garnissage intérieur spécial, est soumise à un mouvement de rotation autour d'un axe légère-

ment incliné sur la verticale. Dans le four Boulevard, la sole est constituée par une chambre cylindrique revêtue intérieurement en minerai de fer recouvert d'une couche glacée d'oxyde de fer et recevant un mouvement de rotation autour d'un axe horizontal.

Ces dispositifs ont pour but de remplacer, par l'action mécanique, le travail du brassage à bras d'homme, si pénible pour les ouvriers puddleurs, tout en augmentant le rendement des fours.

Dans certains fours à réchauffer employés pour la trempe, il n'y a même plus de sole ; c'est ce qui se rencontre dans les fours verticaux où les foyers sont placés verticalement à des distances déterminées et qui reçoivent la pièce à réchauffer dans une gaine axiale où elle est suspendue.

En ce qui concerne la liaison du laboratoire à la cheminée, on trouve des dispositifs spéciaux appropriés à la nature de l'opération calorifique à accomplir. Dans les fours à recuire notamment, il y a nécessité absolue de forcer les gaz brûlés à circuler tout autour des pièces pour assurer leur chauffage uniforme, aussi le laboratoire prend-il de très fortes proportions, le rampant étant remplacé par une série de

carneaux pratiqués dans la sole même et mis en relation avec la cheminée.

Pour obtenir un chauffage régulier et plus ou moins approprié aux dimensions inégales des pièces à recuire, on ne se contente plus d'un seul

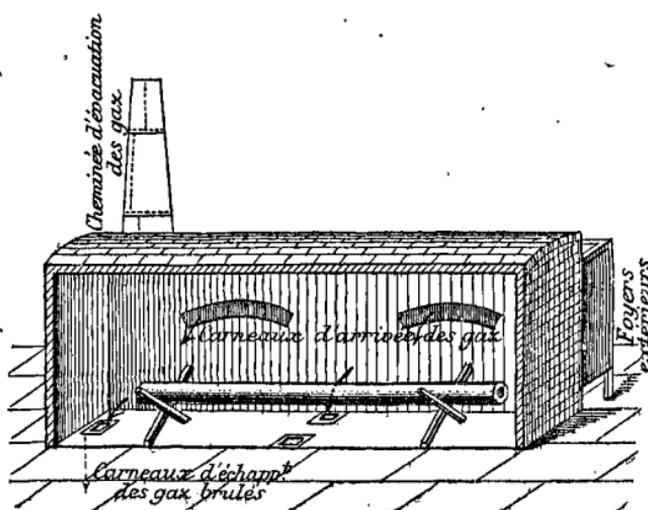


Fig. 6

foyer et on en dispose plusieurs sur un, deux ou trois côtés qu'on activera ou qu'on ralentira en conséquence (fig. 6).

Enfin, on peut réaliser dans les fours à réverbère le *chauffage en vase clos*, quand il y a intérêt à soustraire la matière en traitement aux réactions oxydantes. Pour cela, la sole sert simplement de support aux récipients conte-

nant soit seulement la fonte à refondre, soit le mélange de matières appropriées dont la fusion et la réaction réciproque produiront de l'acier.

Ces récipients (*fig. 7*), le plus souvent en *matière argileuse* et quelquefois en *graphite*, sont des creusets contenant de 35 à 45 kilogrammes

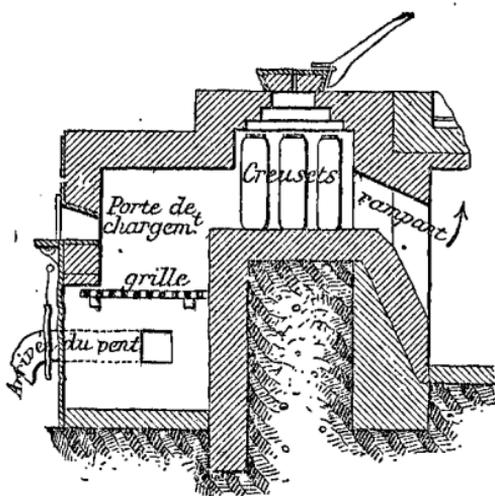


Fig. 7

de matière. Pour pouvoir les introduire dans le four ou les en extraire, un orifice spécial est pratiqué dans la voûte du laboratoire.

d) *Fours de cémentation.* — Les fours de cémentation (*fig. 8*) dérivent du type des fours à dôme dont il a été parlé plus haut.

La cémentation est une opération métallurgique qu'on croit très ancienne, mais dont l'historique est peu connu, elle a été toutefois remarquablement décrite par Réaumur, en 1722,

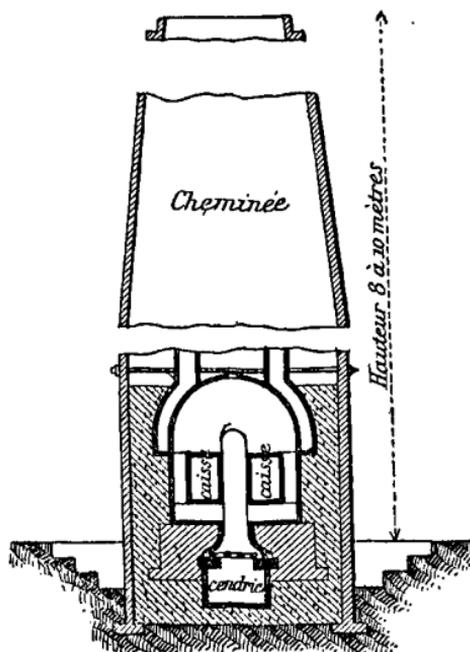


Fig. 8. — Four de cémentation

dans son *Traité de l'art de convertir le fer en acier*.

Si l'on a préalablement fabriqué du fer par une méthode d'élaboration déterminée et qu'on l'ait transformé en barres, on se propose de le

convertir en acier en lui incorporant directement du carbone après l'avoir toutefois porté à haute température pour favoriser cette incorporation, sans l'avoir cependant amené à l'état de fusion.

L'opération s'effectue dans des caisses rectangulaires en terre réfractaire placées au nombre de deux dans un four à briques à voûte surbaissée et dont la maçonnerie se prolonge verticalement en une sorte de cheminée conique de 6 à 7 mètres de hauteur.

Au-dessous et sur toute la longueur est disposée une grille permettant de chauffer pendant 15 jours ou trois semaines selon la dureté de l'acier à obtenir.

Les barres de fer de 18 à 20 millimètres d'épaisseur sont placées dans les caisses et entourées de ciment. Le ciment est essentiellement composé de charbon de bois de chêne et de diverses matières carburées.

Pour fermer hermétiquement les caisses, on achève de les remplir avec du sable fin sur une épaisseur d'environ 20 centimètres ; cette couche formera une sorte de couvercle mobile s'affaisant avec le reste de la charge et empêchant l'air de pénétrer en brûlant le ciment.

Lorsque le fer sort de l'appareil où on l'a

cémenté, sa constitution a changé à cause de l'incorporation du carbone qui s'est effectuée; mais, comme on le verra à l'étude des réactions métallurgiques où le mécanisme de la cémentation sera approfondi, la répartition de ce corps dans sa masse est loin d'être régulière, aussi y a-t-il nécessité de donner au produit une certaine homogénéité. On y arrive par des moyens qui seront ultérieurement décrits.

L'idée de recarburer le fer porté au rouge pour avoir de l'acier conduisit à celle de décarburer partiellement la fonte portée au rouge et non fondue au contact de corps oxydants. De là, l'emploi de fours de *décarburation* analogues aux fours de cémentation, mais de construction plus simple, l'opération ne durant que quelques jours.

Les moulages de fonte à adoucir sont placés dans des creusets entourés de toutes parts d'hématite rouge en grains, de chaux, d'oxyde de manganèse, etc. Ces creusets sont hermétiquement fermés et placés, empilés les uns au-dessus des autres, sur la sole centrale du four de décarburation.

On chauffe de manière à atteindre, au bout de 24 heures, la température de 1000°; cette température, qu'il ne faut pas dépasser, est main-

tenue pendant 3 à 5 jours suivant les dimensions des pièces et le degré de décarburation qu'on veut atteindre, puis on laisse refroidir 24 heures avant de désourner.

Le métal adouci ainsi obtenu est ce qu'on appelle dans le commerce la *fonte malléable* ; il nous suffira d'avoir indiqué le principe de sa fabrication.

II. FOURS A PÉTROLE

D'une manière générale, il est permis d'affirmer que les combustibles liquides sont rares dans les usines sidérurgiques ; cependant, depuis une trentaine d'années, leur emploi commence à se répandre surtout en Russie, ainsi qu'on l'a dit à l'étude des combustibles,

Les huiles de pétrole sont, comme presque tous les hydrocarbures, plus ou moins volatiles ; et, au fond, il s'agit plutôt de brûler des vapeurs que des liquides proprement dits. Pour atteindre ce but, il faut donc aussi faire alterner, en lames minces, l'air et la vapeur combustible et l'on peut y arriver, soit à l'aide d'une sorte de *grille*, soit à l'aide d'un *chaleurmeau*.

a) *Fours avec grilles.* — Les dispositifs nouveaux adoptés depuis quelques années dans l'industrie ne doivent point faire oublier que l'appareil à grille pour pétrole fut inventé par M. Audoin, et perfectionné par H. Sainte-Claire-Deville (1). Cet appareil a été appliqué par ce savant au chauffage des fourneaux de laboratoire et à la production de la vapeur.

La bonne marche d'une grille à pétrole ne peut être réalisée qu'autant que le tirage est suffisamment actif et que l'écoulement du pétrole est convenablement réglé ; si l'on ne satisfait pas à cette double condition, la combustion a lieu avec fumées noires et épais dépôt de noir de fumée engorgeant bientôt les carneaux.

Il faut donc, par une marche appropriée, que la combustion se fasse sans gaz non brûlés.

C'est à Nobel (1882) que l'Industrie est redevable d'un type de grille à pétrole qui rendit vraiment pratique l'emploi des fours à combustible liquide.

La grille Nobel est constituée par une série d'augels superposés A, A', A'' (fig. 9) contenant le pétrole, dont le débit est réglé par de petits

(1) *Annales de physique et chimie*, 4^e série, t. XV, p. 30.

bassins B, B', B'', communiquant en r, r' avec les augets.

Dans l'axe des bassins passent les tuyaux de décharge t, t', t'', ouverts aux deux extrémités. Toutes les pièces de la grille sont en fonte, venues d'un seul jet, et ne comportent entre elles aucun joint mobile. Le pétrole est amené dans B par un conduit spécial, d'où il passe dans l'auget A, le trop-plein se déversant par le tuyau t dans le bassin B' et ainsi de suite, de sorte, que, dans tous les augets, le pétrole a toujours un niveau constant. Si le débit du pétrole est trop grand par rapport à l'activité de la combustion, l'ex-

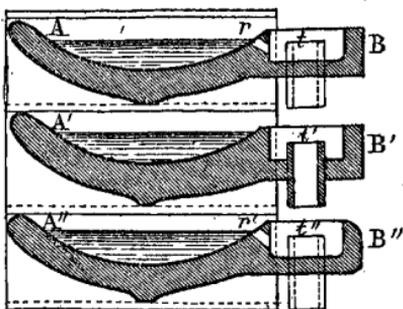


Fig. 9. — Détail des éléments de la grille à pétrole Nobel.

cès de combustible passe du bassin inférieur B'' dans un réservoir spécial placé sous le foyer. Enfin pour le passage de l'air, on ménage un interstice entre chaque auget. Le pétrole ne brûle pas dans les petits bassins, mais uniquement dans les augets.

La grille Nobel peut être appliquée à un four

à réverbère, soit pour la fusion de la fonte (*fig. 10*), soit pour l'élaboration de l'acier au creuset (*fig. 11*). C'est dans un four à pétrole que fut réalisée, il y a une quinzaine d'années, la fabrication d'acier doux exempt de soufflures à l'aide d'une très faible addition d'aluminium.

Cet acier, d'une très grande douceur, fut appelé « mitis » et servit à confectionner des moulages ;

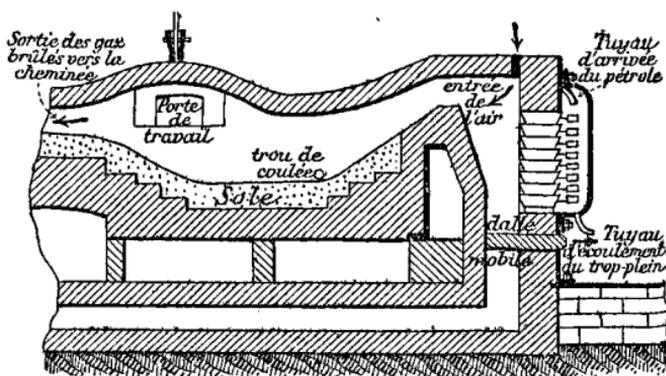


Fig. 10. — Four de fusion au pétrole avec grille Nobel, pour la fonte.

sa fluidité était remarquable, il remplissait bien les moules et donnait des objets d'une grande compacité.

Dans le four Nobel destiné à la fusion de l'acier, l'air arrive non seulement par l'ouverture supérieure de la voûte, mais encore par une ouverture supplémentaire l'amenant dans

un conduit circulant sous la sole ; la combustion se fait donc avec de l'air fortement échauffé.

Ce four contient trois chambres comprenant chacune deux creusets.

Enfin, nous signalerons pour mémoire, l'emploi du pétrole pour le chauffage dans certaines opérations de forge, telles que le rivetage, etc.,

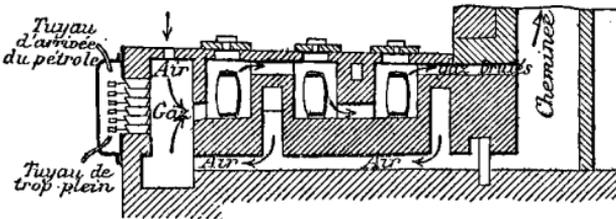


Fig. 11. — Four de fusion d'acier avec grille Nobel à six creusets

les grilles à pétrole qui sont adaptées à ces forges portatives dérivent toutes plus ou moins de la grille Nobel.

b) *Fours à injection.* — L'idée d'injecter le pétrole à l'aide d'un chalumeau dans un four pour l'échauffer est déjà ancienne, elle a été appliquée à Paris depuis plus d'une trentaine d'années dans quelques industries.

En sidérurgie, cette idée n'est devenue vraiment pratique que depuis peu en introduisant, dans les fours, l'air et l'huile naturelle ou lourde par un bec Bunsen de très grande puissance

dont la flamme est projetée dans le laboratoire,

Une méthode préférable consiste à faire arriver la flamme du bec Bunsen (*fig. 12*) par le fond d'une grille mobile recouverte de fragments de briques réfractaires qui, sous l'action du feu, sont portées au rouge vif et donnent autant de chaleur que l'antracite en combustion.

L'emploi d'un bec unique laisse souvent à

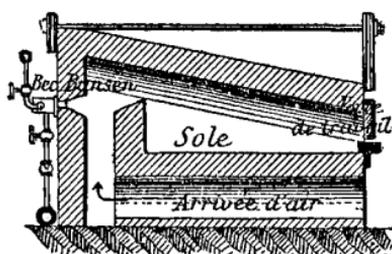


Fig. 12. — Four de réchauffage au pétrole.

désirer parce que le four n'est pas chauffé uniformément; ce qui présente un grand inconvénient pour les fours à réchauffer les métaux qui doivent

subir ultérieurement une transformation mécanique quelconque à haute température.

Le bec unique de très fort débit est remplacé, le plus ordinairement, par trois brûleurs analogues de petit calibre; chacun d'eux fonctionnant indépendamment et au moment où on le désire.

Les fours, dont on vient de donner le principe, peuvent servir au réchauffage ou aux opérations calorifiques de *recuit* et de *revenu* auxquelles on soumet les métaux ferreux; il ne semble pas qu'on ait pu les appliquer à la fusion.

TITRE III

LES FOURS A GAZ

On a vu que le *charbon minéral* a remplacé dans presque tous les chauffages sidérurgiques, aussi bien pour la fabrication des fontes que pour celle du fer, l'ancien *combustible végétal*. Or, tous ces combustibles employés dans les conditions que nous avons décrites perdent, par l'inutilisation de la plus grande partie des produits gazeux de leur distillation, une énorme quantité de leur pouvoir calorifique.

C'est Ebelmen qui, le premier, en 1840, par une série de remarquables travaux, attira l'attention sur ce point ; mais ce n'est qu'en 1862 qu'on réussit, après divers essais infructueux, à appliquer pratiquement ses idées.

Le point de départ de ces études date des recherches faites pour utiliser les *gaz sortant des appareils métallurgiques*, gaz renfermant encore des éléments combustibles dont il était naturel de chercher à tirer parti. Mais ces gaz, peu riches en éléments combustibles, s'enflamment difficilement au-dessous du rouge donnant lieu, par leur mélange avec l'air à la température ordinaire, à des composés détonants.

On fut donc amené à les chauffer au rouge avant de les mêler à l'air, on put alors les enflammer sans danger et récupérer leur chaleur.

Bientôt, reconnaissant les avantages nombreux inhérents à ce mode de chauffage, on ne se borna pas à utiliser les produits encore combustibles des appareils métallurgiques ; on transforma directement dans des *gazogènes*, par une combustion incomplète, le charbon solide en combustible gazeux.

Puis on chauffa l'air et le gaz avant de les mettre en présence et l'on put, de ce fait, atteindre des températures inconnues jusqu'alors.

Il est bien évident que le chauffage préalable du comburant et du combustible ne sera rationnel qu'autant qu'on se sera servi, pour le réaliser, de combustibles de valeur moindre que celui qui brûle dans le fourneau principal ou

qu'on aura mis à profit la chaleur de flammes perdues.

Nous avons donné antérieurement, à propos de l'utilisation rationnelle des combustibles, les motifs qui militaient en faveur de l'adoption des gaz et du chauffage préalable du comburant et du combustible afin de récupérer, par la combustion, le maximum de chaleur; nous n'y reviendrons pas. Les appareils organisés dans ce but peuvent fonctionner selon deux modes différents :

Soit par conductibilité;

Soit par l'application du principe de la régénération de la chaleur.

Les appareils reposant sur ce dernier principe sont les plus importants à considérer et ressortissent directement à notre sujet, c'est d'eux que nous nous occuperons tout d'abord. Mais comme les appareils reposant sur le principe de la conductibilité occupent encore une certaine place, quoique bien secondaire aujourd'hui, dans la métallurgie des métaux ferreux, nous devons, en fin de cette étude, donner à leur sujet quelques renseignements sommaires.

CHAPITRE PREMIER

FOUR SIEMENS

C'est en 1856, que William Siemens, aidé de son frère Frédéric, proposait un moyen pratique d'obtenir des températures beaucoup plus élevées que celles obtenues auparavant, tout en réalisant de grandes économies de combustible.

Du combustible solide en couche épaisse est placé dans un foyer spécial où il ne peut brûler que partiellement se transformant surtout, par distillation lente, en gaz combustible. Dès leur sortie de ce générateur de gaz, dit gazogène, les gaz combustibles s'échauffent à une source de chaleur préalablement créée et c'est chauds qu'ils arrivent dans le four où ils rencontrent, venant d'un conduit distinct, l'air qui doit les brûler ; cet air aura été préalablement chauffé.

La combustion s'effectuera dans une chambre appropriée à cet effet et les *produits brûlés*

seront appelés à la cheminée. Mais avant de l'atteindre, on leur aura fait perdre, en l'emmagasinant de certaine manière, la plus grande partie de la chaleur qu'ils possèdent.

C'est de cette chaleur ainsi récupérée qu'on disposera pour chauffer, comme on l'a dit, l'air et le gaz combustible avant leur combustion, à l'aide d'appareils spéciaux que nous décrirons.

Ainsi, le four Siemens comprendra le *gazogène*, d'une part, et le *récupérateur* ou *régénérateur de chaleur*, d'autre part, ce dernier appareil étant associé à un *laboratoire* déterminé.

On peut remarquer que, considéré isolément, aucun des appareils Siemens n'est absolument nouveau ; car, dès 1840, Ebelmen avait proposé le gazogène ; mais les gaz ainsi obtenus avaient une température de combustion trop faible pour être utilement employés.

C'est Siemens qui eut l'idée du chauffage préalable du comburant et du combustible ; le régénérateur qu'il emploie dans ce but est analogue à celui qu'Ericson avait imaginé dans sa machine à air chaud pour condenser la chaleur de l'air de façon à pouvoir la reprendre. Ericson retenait la chaleur du gaz en lui faisant échauffer une série de toiles métalliques, Siemens fait absorber cette chaleur par des briques réfractaires.

Ce simple rapprochement ne saurait amoindrir, d'aucune manière, le mérite des frères Siemens qui surent si bien mettre à profit, en constituant un véritable appareil industriel, les idées moins objectives de leurs devanciers.

I. LE GAZOGÈNE

Par la combustion incomplète des combustibles solides dans le gazogène, on transforme le carbone en oxyde de carbone et on fait distiller les hydrocarbures ; les gaz combustibles, ainsi obtenus, sont brûlés méthodiquement dans les fours à échauffer, comme il va être expliqué.

On distingue les gazogènes à *grilles* et ceux à *vent soufflé*, les premiers sont les plus employés.

1. Gazogènes à grille. — Un gazogène à grille consiste en une sorte de cuve parallélepédique recouverte au ras du sol de l'usine par une voûte en maçonnerie résistante (*fig. 13*) ; trois de ses parois sont verticales et construites en matériaux réfractaires.

Le devant appelé *poitrine* est fermé par une cloison oblique en fonte recouverte de briques ; cette cloison se prolonge par une grille à larges

gradins quand on emploie des combustibles pulvérulents ou par une grille à barreaux quand on emploie des combustibles en morceaux.

C'est de l'inclinaison de la poitrine et de la grille, ainsi que du dispositif approprié adopté

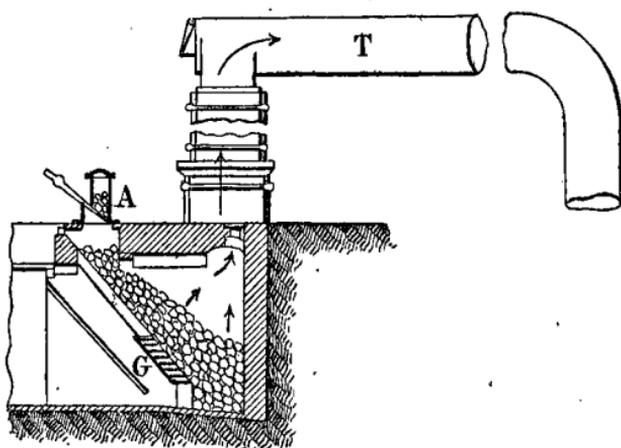


Fig. 13. — Gazogène Siemens.

A, appareil de changement du combustible ; G, grille à gradins ;
T, tuyau de conduite des gaz.

pour cette dernière, que dépend surtout, en dehors de la question du tirage, la bonne marche du gazogène.

La voûte de l'appareil est percée d'un certain nombre d'ouvertures : les unes sont recouvertes de cloches dont le fond est fermé par des trappes qu'on manœuvre de l'extérieur, ce sont les dispositifs de chargement en combustible ; une

autre ouverture sert à la sortie des gaz combustibles à utiliser ; enfin de petits regards fermés par des tampons en fonte permettent d'observer l'intérieur du four.

Une pluie d'eau est souvent disposée à la partie antérieure de la grille ; cette eau très divisée, tombant dans le cendrier, le refroidit et, se transformant partiellement en vapeur qui se dissocie sous l'action de la chaleur du foyer, fournit de l'hydrogène qui enrichit le gaz combustible.

2. Gazogènes à vent soufflé. — On a pensé à recourir au soufflage pour les raisons suivantes :

On peut, en soufflant, utiliser des combustibles pulvérulents ou impurs qui, avec le tirage naturel, eussent brûlé difficilement et majorer de ce fait la charge en combustible.

En outre, tout en rendant plus régulière la marche du gazogène, on rend supérieure à la pression atmosphérique la pression à l'intérieur des fours ; ce qui est souvent indispensable dans les appareils servant à l'élaboration des aciers, afin d'éviter l'oxydation trop rapide des matières en traitement.

a) *Gazogènes à grille soufflés.* — Pour transformer un gazogène à grille à tirage naturel en

gazogène à grille soufflé, il suffit simplement de fermer hermétiquement le cendrier et d'y placer une tuyère.

Le vent, emprunté souvent aux souffleries des hauts-fourneaux, est fourni par un simple branchement sur une conduite existante à l'aide d'un ventilateur desservant toutes les grilles ou à l'aide d'un injecteur à vapeur affecté à chaque grille.

Quand tous les gazogènes dépendent d'un ventilateur unique, on ne peut procéder au décrassage de la grille sans interrompre la marche générale. Pour y remédier, au lieu de souffler le gazogène par le cendrier préalablement fermé, on a imaginé, en laissant au gazogène à grille sa disposition normale, de placer sur la conduite réunissant le gazogène au four un ventilateur qui fonctionne comme exhausteur en aspirant les gaz du foyer pour les refouler dans le laboratoire.

b) *Gazogènes à cuve.* — Les gazogènes à cuve sont, en somme, des réductions de hauts-fourneaux, on bénéficie du soufflage sans qu'on rencontre les difficultés de décrassage que nous avons signalées.

Et, en effet, ou bien les cendres s'éliminent à l'état de produits fusibles par l'addition de fon-

dants appropriés à la charge en combustible et s'écoulent par un trou de coulée pratiqué au bas de l'appareil, ou bien on place les tuyères de soufflage assez haut pour que les cendres puissent s'accumuler au-dessous ; dans ce dernier cas, on les en retire en ouvrant des portes disposées à la partie inférieure de la cuve.

Les gaz combustibles, comme dans les hauts-fourneaux, s'échappent par un appareil spécial de *prise de gaz* ménagé à la partie supérieure.

Le premier gazogène à cuve fut construit par Ebelmen.

3. Gazogènes à récupération des sous-produits. — L'étude des gazogènes à récupération des sous-produits de distillation ressortit plutôt à la chimie industrielle ; aussi, ne ferons nous que les signaler.

Cependant, il y a lieu d'ajouter qu'on commence à en rencontrer dans les usines sidérurgiques, ces appareils donnant aux aciéries qui les utilisent un accroissement de bénéfice résultant de la vente des sous-produits.

Le gazogène Mond, assez répandu, a été principalement imaginé dans le but d'extraire de la houille les produits ammoniacaux. La distillation du combustible est conduite de manière à obtenir un gaz exempt de goudron et produit à

température assez basse pour être aussi riche que possible en ammoniaque.

Le gaz Mond, entre autres applications, est très précieux pour le chauffage des chaudières et convient très bien, ainsi que l'a montré M. Darby, pour la fabrication des aciers sur sole.

4. Sur le groupement et le tirage des gazogènes. — Les gazogènes peuvent constituer un groupe unique ou être fractionnés en groupes distincts, chaque groupe desservant un four.

Dans les *groupements en batterie*, les gazogènes sont réunis dans une partie de l'usine éloignée à dessein des fours à desservir ; on recueille tous les gaz dans une conduite unique qui les distribue aux différents fours ; dans cette conduite en tôle se déposent les goudrons et les poussières et le gaz recueilli a une composition plus régulière parce que les variations de marche des divers gazogènes se compensent.

Par ce dispositif, on conserve toujours propres les différents organes des appareils distributeurs et on évite l'encrassement et l'obstruction par les poussières des appareils de régénération, mais on perd presque toute la chaleur sensible des gaz engendrés et l'on a une canalisation fort coûteuse à établir.

On préfère souvent aujourd'hui, dans les installations nouvelles, accoler les gazogènes non loin du four qu'ils doivent desservir et constituer les conduites en matériaux très peu conducteurs de la chaleur.

L'isolement de chaque gazogène peut être assuré à volonté par l'interposition de simples vannes métalliques.

En ce qui concerne le *tirage des gazogènes*, quelques notions sont nécessaires.

On a employé pendant longtemps, et on l'emploie encore aujourd'hui dans quelques aciéries

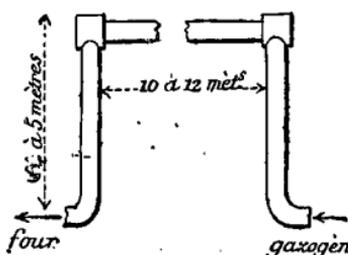


Fig. 14. — Cooling-tub de Siemens.

pour assurer le tirage des gazogènes placés au niveau des fours, le système du siphon ou *cooling-tub* de Siemens (fig. 14). Le gaz sortant du gazogène suit une conduite

verticale en tôle se continuant sur une assez grande longueur par un tuyau horizontal.

A son autre extrémité, ce tube se recourbe à angle droit et se termine par un tuyau vertical descendant dont la partie inférieure est reliée au four par un canal établi à niveau du sol.

Dans son trajet à l'intérieur de ce tuyau *réfrigérant*, le gaz perd par rayonnement une grande partie de sa chaleur. Les gaz étant plus chauds dans la branche ascendante que dans la branche descendante, l'ensemble des deux conduits verticaux et du conduit horizontal constitue, en somme, un immense siphon dans lequel le mouvement du fluide est assuré par une différence de densité.

L'inconvénient de ce système ressort de ce fait que, pour réaliser le tirage, on provoque une chute de température de près de 300° .

Quand les gazogènes ne sont pas soufflés, on assure actuellement le tirage, le plus souvent, en plaçant ces appareils à 3 ou 4 mètres au-dessous du niveau de la sole des fours.

Si H (fig. 15) est la pression atmosphérique au

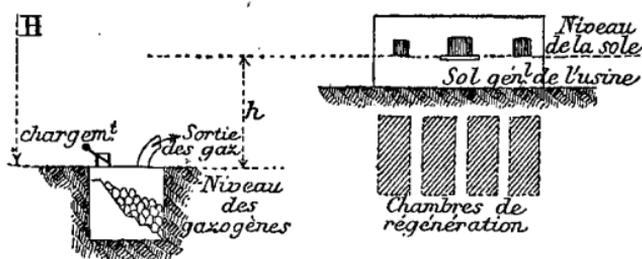


Fig. 15

niveau des gazogènes, h , la différence de leur niveau avec celui de la sole des fours, d , la densité

moyenne du gaz combustible par rapport à l'air, on aura, d étant inférieur à 1,

$$H - hd > H - h$$

Il ne devra donc pas y avoir de rentrée d'air dans le four ; on s'en apercevra, du reste, quand les flammes intérieures auront tendance à s'échapper par les joints des portes de travail et de chargement.

5. Le gaz à l'eau. — Le gaz combustible engendré par les gazogènes les plus répandus dont il vient d'être question a été appelé *gaz à l'air* par opposition au *gaz à l'eau* dont nous dirons quelques mots.

Les exigences de l'industrie réclamant des gaz combustibles à pouvoir calorifique aussi élevé que possible, on a eu l'idée, pour les produire, d'utiliser la réaction de la vapeur d'eau sur le charbon porté au rouge, à savoir :



Dans le gaz à l'air, en effet, la proportion d'éléments utiles n'atteint que bien rarement 40 %.

Or, la réaction (1) s'effectuant avec absorption de chaleur, il faut que l'appareil où elle s'accomplit soit chauffé extérieurement.

On a alors imaginé de profiter de la chaleur emmagasinée dans les gazogènes fonctionnant à l'air soufflé pour produire alternativement dans ces gazogènes d'abord du gaz à l'air, puis du gaz à l'eau.

Quand le gazogène, après avoir produit pendant un certain temps le gaz à l'air, est à une température assez élevée, on arrête la soufflerie et l'on fait arriver, au contact du charbon porté au rouge, de la vapeur d'eau. Puis, le charbon n'étant plus assez chaud pour provoquer la réaction, on recommence à souffler pour produire du gaz à l'air, et ainsi de suite. Le gaz à l'air est alors réservé au chauffage des fours à température relativement basse et le gaz à l'eau pour l'obtention des températures élevées.

Cette fabrication de gaz à l'eau, originaire d'*Amérique*, commence à se répandre en *Europe*; elle a été utilisée avec succès aux usines d'Essen et de Hoerde.

La composition moyenne du gaz à l'eau est la suivante :

CO	47
H	46
CO ²	3
Az	4
	100

II. LES RÉGÉNÉRATEURS SIEMENS

Le four à échauffer consiste le plus ordinairement en un four à réverbère qui, au lieu d'être muni d'une chauffe ordinaire et d'un rampant, est disposé symétriquement à ses deux extrémités. Au-dessous de chacune d'elles se trouvent deux compartiments ou chambres parallépipédiques à murs étanches, remplies de briques empilées à claire-voie ; ce sont les *régénérateurs* ou *recupérateurs* de chaleur.

Il y a donc en tout quatre chambres ; deux formant le groupe de gauche, par exemple, les deux autres formant le groupe de droite.

1. Fonctionnement des régénérateurs. — Le gaz venant du gazogène et l'air venant de l'atmosphère arrivent séparément par deux de ces chambres, celles de gauche, par exemple, représentées seulement dans la *fig. 16* et pénètrent au-dessus de la sole du four où ils se mélangent.

Supposons que la température du four soit suffisante pour que les gaz venant du gazogène puissent s'enflammer au contact de l'air dans l'enceinte du four ; les gaz brûlés quitteront le

laboratoire pour gagner la cheminée, sortant *indistinctement* par les deux chambres de droite.

Ils y abandonnent leur chaleur et, au bout d'un certain temps, les briques des chambres de droite deviennent incandescentes. Alors on renverse le courant par un dispositif de valves approprié en

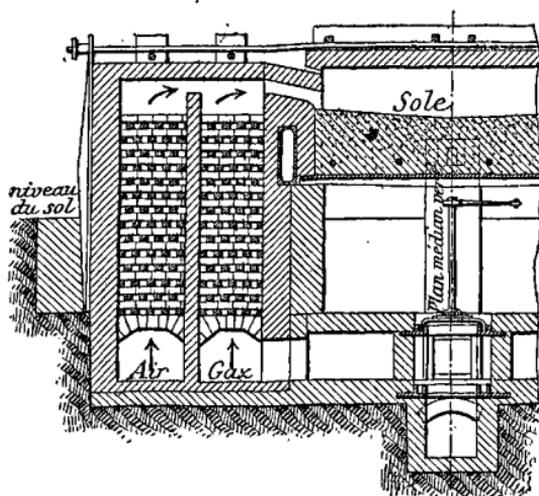


Fig. 16. — Four Siemens primitif.

faisant arriver l'air par l'une des chambres de droite et le gaz par l'autre; air et gaz se réchauffent, récupérant la chaleur emmagasinée pendant la période précédente; les gaz brûlés sortent *indistinctement* par les chambres de gauche et les échauffent à leur tour.

Au bout d'un certain temps, les chambres de

droite étant refroidies et celles de gauche étant incandescentes, on renversera le courant de nouveau et ainsi de suite.

La considération de la formule donnant la température de combustion permet de montrer que la température croît sans cesse, sans qu'il soit cependant permis d'affirmer qu'elle croîtrait indéfiniment si l'on n'était limité par la fusion des matériaux réfractaires constituant les chambres à briques ou par la dissociation des produits gazeux.

Nous ignorons, d'une part, la loi exacte de la variation des chaleurs spécifiques avec la température, obligés de nous en tenir à des valeurs moyennes ou à des formules empiriques péniblement établies et nous ne connaissons pas, d'autre part, la perte par conductibilité subie par le four Siemens ainsi que la loi de la variation de cette perte avec la température. Il en résulte qu'on peut bien affirmer que les températures croissent, car leur accroissement est d'un ordre supérieur aux erreurs signalées (du moins dans les limites de température où l'on opère) ; mais il peut parfaitement se faire que la série formée par les accroissements successifs de chaleur soit convergente, et que la température ne puisse croître au-delà de toute limite, même si la fusion des briques ou la dissociation n'intervenaient pas.

Ces réserves faites, supposons l'air et le gaz à la même température au début de la marche, et à 0° , on trouvera pour leur température de combustion t_1 , l'expression :

$$t_1 = \frac{\Sigma.Pq}{\Sigma.pc},$$

en conservant nos notations antérieures. Après le premier renversement des valves, l'air et le gaz combustible, au lieu d'être à 0° seront à T° quand, après avoir traversé les chambres de récupération préalablement échauffées par les gaz brûlés se rendant à la cheminée, ils arrivent sur la sole.

On voit donc que la nouvelle température de combustion t_2 est plus grande que t_1 , puisqu'on a :

$$t_2 = \frac{PCT + P'C'T + \Sigma.Pq}{\Sigma.pc}.$$

Mais puisque $t_2 > t_1$, l'air et le gaz seront à leur tour échauffés par les briques à une température $T_1 > T$; donc la nouvelle température de combustion t_3 dépassera t_2 , par suite aussi les briques communiqueront à l'air et au gaz une température $T_2 > T_1$ ce qui donnera $t_4 > t_3$; et ainsi de suite.

La formule $t = \frac{\Sigma.Pq}{\Sigma.pc}$ suppose que les pro-

duits de la combustion n'ont pas changé entre 0° et t° . S'il en était autrement, il faudrait tenir compte des chaleurs absorbées ou dégagées lors de ces changements d'état.

C'est le cas notamment des corps hydrogénés donnant de la vapeur d'eau.

La dissociation intervient à son tour pour abaisser les températures de combustion au-dessous des nombres théoriques. A partir d'une certaine température correspondant à la tension de dissociation, la combinaison ne se fait plus et la température ne peut plus croître ainsi que nous l'avions fait pressentir. Il est un point de détail qu'il importe toutefois d'élucider avant de terminer ces considérations sur le fonctionnement des régénérateurs. On ne peut compter sur une inflammation certaine du mélange d'air et du gaz combustible lorsque ces fluides débouchent sur la sole du four au début de la marche. Ils ne pourront s'enflammer sûrement qu'autant qu'on aura placé sur cette sole du bois ou du coke préalablement allumés. Quand le four sera rouge, le foyer provisoire sera inutile, le régime d'inflammation par la chaleur seule des parois de l'enceinte sera établi.

2. Sur l'organisation des régénérateurs.

— La hauteur des chambres de régénération dé-

pend en grande partie de la disposition des lieux, elle est limitée par l'obligation où l'on se trouve de les placer le plus ordinairement au-dessous du niveau du sol de l'usine, elle dépend en outre de l'importance du four à échauffer ; aussi, peut-elle varier de 1^m,50 à 4 mètres environ. La forme de la section des chambres est celle d'un rectangle qui doit s'approcher du carré, et comme les quatre chambres doivent tenir presque en entier sous la sole, on voit qu'on est à peu près fixé sur les limites entre lesquelles devront osciller les diverses dimensions des chambres au point de vue pratique.

Une question plus importante se pose maintenant : *quel est le poids de briques nécessaire pour arriver à l'absorption complète de la chaleur perdue ?*

Nous empruntons à M. Gruner la méthode qu'il a indiquée pour cette détermination.

Pour que le tirage ne soit pas arrêté, on peut admettre que la fumée doit conserver encore, dans la cheminée, une température minima de 100 à 150°.

D'autre part, au moment où l'un des groupes des chambres parcourues par les gaz brûlés est porté au rouge et où l'on se dispose à renverser les courants de gaz et d'air pour les faire passer

par chacune des chambres du groupe réchauffé, on peut admettre que les rangées supérieures des briques de ce groupe possèdent une température peu différente de celle des gaz brûlés au sortir du four. Les appareils de mesure des hautes températures que nous possédons aujourd'hui et, en particulier, le pyromètre thermo-électrique de M. Le Chatelier permettraient aisément de l'apprécier (1).

Admettons avec Gruner que cette température soit de 1000° , pour fixer les idées. Supposons, en outre, que la chaleur absorbée par les briques soit égale à celle qu'elles posséderaient, si, dans leur ensemble, elles avaient une température uniforme, qui fût la moyenne entre les deux extrêmes, à savoir, 575° . Or, la chaleur récupérée par les briques est mesurée par pct , si p , c et t représentent le poids, la chaleur spécifique et l'accroissement de température des briques; comme $t = 575^{\circ}$, si l'on admet $0,23$ pour la valeur de c entre 0° et 575° , on aura pour la chaleur absorbée l'expression :

$$0,23 \times 575 \times p.$$

Ce produit doit être égal à la chaleur perdue

(1) Pour ce qui concerne l'appréciation des températures élevées, voir le volume de l'Encyclopédie, *Travail des métaux dérivés du fer.*

du fourneau, moins celle qu'emporte la fumée et qui se dissipe par rayonnement. Nous aurons un maximum en admettant que les gaz retiennent encore, au sortir du laboratoire, les *trois quarts* de la chaleur développée par la combustion.

Faisons choix, pour être plus précis, d'une houille à 10 % de cendres qui peut développer, d'après des mesures exactes, 8 000 calories; la chaleur absorbée par les briques serait donc au maximum de 6 000 calories et le poids des briques serait donné par l'expression :

$$0,23 \times 575 \times p = 6\,000 \text{ qui détermine } p.$$

Il en résulte que, par kilogramme de houille brûlée, entre deux renversements consécutifs de marche des courants d'air et de gaz, il faut environ 50 kilogrammes de briques; admettons de 50 à 60 kilogrammes. Une brique ordinaire, de 0^m,24 sur 0^m,12 et 0^m,06, offre une *surface utile* d'environ 0^m2,08; et, comme chaque brique pèse 3 kilogrammes, les 50 à 60 kilogrammes correspondent à 18 briques dont la surface utile de chauffe est de $18 \times 0,08 = 1^{\text{m}2},44$. C'est un nombre très rapproché de celui proposé par Siemens à la suite de ses expériences; Siemens avait donné, en effet, comme règle, une surface de

chauffe de $1^{\text{m}^2},25$ à $1^{\text{m}^2},50$ par kilogramme de houille brûlée entre deux renversements.

On peut, enfin, fixer le *rappor*t entre le volume des chambres et le poids du combustible brûlé.

Admettons encore que les briques soient arrangées de telle façon qu'il y ait moitié plein et moitié vide dans les chambres, quitte à changer ce rapport avec d'autres dispositifs.

La densité de la brique étant de 1,8 ; les briques mesurent donc par mètre cube du volume total $0^{\text{m}^3},50$ et pèsent 900 kilogrammes, ce qui correspond à $\frac{900}{50}$ ou $\frac{900}{60}$, soit à 18 ou 15 kilogrammes de houille brûlée.

Ainsi, par mètre cube du volume des chambres, en les supposant complètement remplies de briques à claire-voie, on peut brûler 15 à 18 kilogrammes de combustible pendant le temps qui s'écoule entre deux renversements : et, en effet, on trouve, en général, dans les usines avec les fours moyens, une consommation par mètre cube variant entre 12 et 24 kilogrammes. Il reste, d'autre part, entendu que, par volume des chambres, il est question de la capacité *réellement chauffée* à un moment donné ; c'est le volume des quatre chambres.

Pour avoir la consommation en combustible pour 24 heures, il faudra évidemment savoir combien de fois il y a lieu d'opérer le renversement des courants par heure. Les aciéries suivent, à cet égard, des règles assurant une bonne marche du four et une bonne conservation des régénérateurs.

En construisant un four, on fera bien de donner aux chambres un volume plutôt exagéré, on ne le remplira de briques que sur une partie de sa hauteur et si, plus tard, il y a lieu d'activer la marche du four, on n'aura plus qu'à en ajouter dans la partie libre.

Les chambres sont placées généralement dans le sous-sol de l'usine, en infra-structure, et tout à fait en dessous du four ; il n'en était pas ainsi dans le type primitif de Siemens. En avant des chambres et également dans le sous-sol, se trouvent, dans les nouvelles installations, de vastes couloirs coupés de distance en distance par des couloirs transversaux. Bien que la chaleur y soit assez sensible, on peut aisément y circuler pour la surveillance des régénérateurs, grâce à la forte épaisseur des maçonneries.

L'épaisseur des murs extérieurs des régénérateurs est de 70 à 80 centimètres ; ces parois

sont en maçonnerie massive ou cloisonnée avec interposition d'une lame de sable isolante.

Les briques ne sont plus, comme autrefois, disposées en chicanes dans les régénérateurs, ce qui était un obstacle à l'enlèvement des poussières; aujourd'hui le massif en briques est constitué par une série de murettes à angle droit divisant les chambres en conduits verticaux, les murettes étant portées sur de petites voûtes qui permettent de faire communiquer tous ces conduits par le bas. Il suffit de passer de temps en temps une râclette dans ces conduits parallèles pour les nettoyer.

Cette disposition a été également adoptée dans la plupart des appareils système Cowper employés pour le chauffage de l'air à insuffler dans les hauts-fourneaux.

Les arrivées d'air et de gaz sont maintenant disposées de telle sorte que le mélange de ces fluides se fasse dans les meilleures conditions; on a imaginé, à cet effet, des dispositifs très variés dont la *fig. 17* donne une idée.

L'inclinaison de ces conduits par rapport à la sole, leurs angles respectifs aux points où ils débouchent dans le four ont été déterminés en conséquence. On remarquera que les conduits du gaz sont placés en dessous de ceux de l'air,

car le gaz, étant plus léger que l'air, a tendance à monter et à croiser le courant d'air.

Le renversement, c'est-à-dire le passage du gaz et de l'air d'un groupe de deux chambres à l'autre groupe, se faisait autrefois à l'aide de valves pivotantes dont la position déterminée par la manœuvre d'un levier situé sur le sol de l'usine fixait telle ou telle direction aux courants d'air et de gaz.

A cet appareil d'inversion difficile à ajuster, sujet aux encrassages, don-

nant lieu par sa manœuvre même à des pertes de gaz, on a actuellement substitué, dans un grand nombre de nouvelles aciéries, les *valves hydrauliques*.

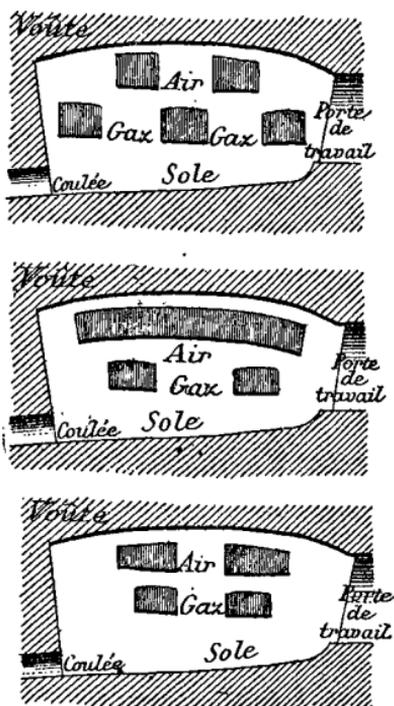


Fig. 17

III. LE LABORATOIRE

L'étude que nous venons de faire des régénérateurs Siemens doit être complétée par celle du *laboratoire*.

Il est difficile aujourd'hui de séparer les régénérateurs de cette partie constitutive du four tel qu'on le construit ordinairement. Cependant l'invention des frères Siemens ne se rapporte exclusivement qu'à l'application du principe de la régénération de la chaleur à l'aide du gazogène et des chambres à briques, le modèle ou type de laboratoire devant recevoir la matière en traitement restant indéterminé.

En dehors de la fusion du verre, le réchauffage des paquets de fer était, en 1862-1863, la seule application pratique des fours Siemens, les essais de fusion de l'acier ayant à peu près échoué avec les types de laboratoire tour à tour adoptés.

1. Essais de M. Martin et ses fils. — Après avoir créé la fonderie de Fourchambault près Nevers, M. Emile Martin, ancien officier d'artillerie, vint s'établir à Sireuil près d'An-

gouléme, dans l'intention d'y fabriquer des produits de choix tels que *bandages, essieux, etc.*, à l'aide d'acier puddlé.

Aidé de ses fils, M. Martin eut l'idée d'étendre l'application du chauffage Siemens en cherchant à fondre l'acier dans le four à réverbère précédemment décrit, c'est-à-dire à réaliser la fabrication de ce qu'on a appelé depuis la *fusion de l'acier sur sole*.

Sans entrer dans le détail de la méthode d'élaboration choisie, il importe néanmoins de dire que MM. Martin cherchaient à appliquer la méthode de Réaumur consistant à obtenir de l'acier en ajoutant à de la fonte des déchets de fer, de façon à obtenir un métal final dans lequel les éléments étrangers fussent réduits à une teneur plus faible que dans la fonte initiale de chargement.

La mise en œuvre de la méthode indiquée par Réaumur, impliquait la possibilité de pouvoir fondre un pareil mélange et de trouver des matériaux suffisamment réfractaires pour la construction du four, une fois la température obtenue.

Il fallait, en outre, que le laboratoire fût conçu de telle sorte qu'il pût récupérer au maximum la chaleur fournie par la combustion des

gaz combustibles et de l'air à leur sortie des chambres de régénération de Siemens.

Après de nombreux essais ayant porté sur les dimensions de la sole, la construction de la voûte et des piédroits, la disposition des brûleurs, etc., MM. Martin purent enfin appliquer, en 1865, à un four de réverbère le principe de chauffage de Siemens. Un emploi judicieux de briques de Dinas (Angleterre) éminemment réfractaires le rendit propre à résister aux hautes températures.

Le four Martin-Siemens, pour la fabrication de l'acier sur sole, était créé ; il ne devait pas tarder à devenir d'une importance considérable dans l'industrie sidérurgique.

Vers 1867-1868, William Siemens réussissait, de son côté, la fusion de l'acier sur sole.

En 1869, les usines Saint-Jacques à Montluçon, puis celles de Firminy (Loire) adoptèrent le nouveau procédé.

Enfin la Compagnie de Terrenoire (Loire), aujourd'hui disparue, et qui devait rendre plus tard à l'industrie du fer des services signalés, ainsi que les usines du Creusot, établirent des installations du four Martin-Siemens conçues sur une grande échelle.

L'adhésion des grandes usines à ce nouveau

procédé de fabrication lui donnait une sanction définitive et lui assurait, en France, la confiance dont il a toujours joui depuis.

En même temps, le four Martin-Siemens se répandait à l'étranger.

2. Éléments du laboratoire. — Les éléments primordiaux du laboratoire sont la *sole* et la *voûte*.

a) *La sole.* — La sole est constituée par des plaques en fonte sur lesquelles on dispose un *revêtement réfractaire spécial* suivant la nature des réactions à provoquer pour le traitement que l'on a en vue.

Ces plaques de fonte sont recouvertes avec des briques mises à plat ou de champ. Les briques choisies furent d'abord des briques de silice à peu près pure afin qu'elles pussent résister aux hautes températures ; plus tard, on employa des briques de magnésie, de dolomie calcinée, etc., qu'on appela *matériaux basiques* par opposition aux briques de silice constituant des *matériaux acides*.

Or, le choix de ces matériaux n'est pas indifférent, car nous verrons à l'étude des réactions métallurgiques qu'en réalité *le revêtement joue un rôle chimique dans l'élaboration de l'acier*.

On ne peut avec un revêtement en briques de

silice, c'est-à-dire avec une *sole acide*, transformer en acier non phosphoreux, une fonte phosphoreuse. Or, le phosphore est éminemment nuisible aux propriétés mécaniques des métaux ferreux qui en contiennent.

Et, cependant, il y aurait intérêt à pouvoir le faire, à cause de l'abondance extrême des minerais phosphoreux.

Le revêtement en matériaux basiques, c'est-à-dire la *sole basique*, a permis, comme nous le verrons, de résoudre cet important problème. Il y a plus ; on peut aussi déphosphorer même si le revêtement n'est pas basique, *pourvu qu'il ne soit pas acide* ; de là, l'emploi de matériaux neutres constituant le travail sur *sole neutre*.

Cette digression nécessaire étant faite, revenons à la construction de la sole et supposons, pour fixer les idées, qu'elle soit acide.

Les plaques de fonte étant recouvertes de briques, il faut procéder à l'opération qu'on appelle *faire la sole*.

Pour cela, on élève d'abord la température du four jusqu'à la chaleur de fusion ou à peu près, puis on jette du sable à la pelle de façon à recouvrir la surface de l'assise des briques. Une couche de sable n'est recouverte par la suivante que lorsque la chaleur a glacé sa sur-

face. Le sable employé doit être éminemment quartzeux et fin. L'épaisseur de la sole est fonction de la qualité des sables employés à sa confection, elle varie de 15 à 60 centimètres.

La sole est, en général, soutenue par trois piliers en maçonnerie disposés de telle sorte que l'air puisse circuler librement au-dessous et combattre l'échauffement intense auquel elle sera soumise en cours de travail.

Les dimensions de la sole varient entre des limites assez larges; certains fours peuvent contenir jusqu'à 30 tonnes d'acier ou de fer fondu et même bien davantage; d'autres en contiennent à peine 2 à 3 tonnes.

Pratiquement le rapport de 1/2 environ entre la largeur et la longueur du laboratoire semble admis dans les fours récents. La longueur utile entre les autels y est rarement inférieure à 5 mètres. Dans le cas des soles basiques, on dame d'abord sur les plaques de sole, une première couche de 15 à 20 centimètres d'épaisseur de pisé, dolomie et goudron; puis on achève la sole en plaçant, au-dessus de cette couche, une assise de briques basiques qu'on recouvre de plusieurs pelletées de dolomie calcinée en poudre soudées par un bon coup de feu.

Enfin, il y a lieu d'indiquer que, soit avec sole acide, soit avec sole basique ou neutre, on a pu adapter la disposition de la sole mobile circulaire du four de puddlage système Pernot aux régénérateurs Siemens. Le brassage mécanique des matières fluides en traitement peut contribuer, comme on le verra, à la réussite de certaines réactions.

L'examen détaillé du rôle joué par les différents matériaux employés pour la confection des soles, ne peut être entrepris que dans l'étude même des procédés d'élaboration.

b) La voûte. — La voûte est toujours construite en élément siliceux que le four soit acide ou basique; les briques basiques, par suite de leur mauvaise conductibilité, se dilatent mal et se brisent, laissant tomber leurs fragments dans le bain de métal fondu. Leur forme irrégulière, provenant du retrait inégal consécutif à leur cuisson, ne permet pas d'en faire, pour la voûte, un appareillage assez soigné.

En outre, ces briques exposées d'un côté à une chaleur intense et, de l'autre, au contact de l'air, se cassent vite n'étant pas douées de l'élasticité de la brique de silice toujours un peu poreuse.

Les efforts des constructeurs d'appareils mé-

tallurgiques tendent à réaliser, pour les fours basiques ou neutres, des constructions dans lesquelles, pour tous les éléments du laboratoire, voûte, piédroits et sole, la brique de silice serait totalement exclue. Il n'est pas permis d'affirmer que la solution de ce problème soit définitivement trouvée.

Les piédroits supportant la voûte sont faits sans grande difficulté en matériaux basiques ou neutres, concurremment avec la sole, quand on se propose de déphosphorer.

En aucun cas, les voûtes ne doivent être trop surbaissées car le chargement du four est moins rapide et la circulation de la flamme peut se trouver trop longtemps entravée par l'amoncellement des éléments de la charge.

Une pratique excellente consiste à rendre la voûte du four absolument indépendante du reste de la maçonnerie. Dans le sens de la longueur, le montage est disposé de telle façon que le contact des têtes de voûte avec le massif des autels ne s'effectue qu'à haute température.

Quant aux retombées latérales des voûtes, on en reporte toute la poussée sur les armatures en les épaulant directement contre la fonte et on les isole des piédroits par une armature complémentaire.

Toute la superstructure du four Martin : laboratoire, voûte, piédroits, etc., est recouverte également extérieurement, au moins du côté du plancher de travail, avec des armatures ou plaques de fonte consolidées par des tirants en fer.

Le chargement du four se fait ordinairement par trois portes, dont les dimensions varient avec celles du four lui-même.

Du côté opposé se trouve placé le trou de coulée percé au foret en finissage de sole, et au point le plus bas de celle-ci. De chaque côté sont ménagées des portes plus petites que celles servant au chargement, et au moyen desquelles on fait à la sole et aux piédroits de la voûte les réparations qui peuvent être exécutées sans un arrêt complet du four.

IV. APPROPRIATION DES RÉGÉNÉRATEURS SIEMENS AUX FOURS DE FUSION SERVANT A L'ELABORATION DES ACIERS AU CREUSET

Les anciens fours à creusets, servant à l'élaboration des aciers en vase clos, étaient chauffés à l'aide de houille ou de coke brûlés sur une grille, ils étaient presque toujours à *vent soufflé*.

Comme on ne pouvait y obtenir une température suffisante, on n'arrivait à fondre dans les creusets que les nuances d'aciers relativement dures, c'est-à-dire plus rapprochées de la fonte que du fer doux par leur composition chimique, et par conséquent, *plus fusibles*.

Nous avons vu comment Nobel put approprier

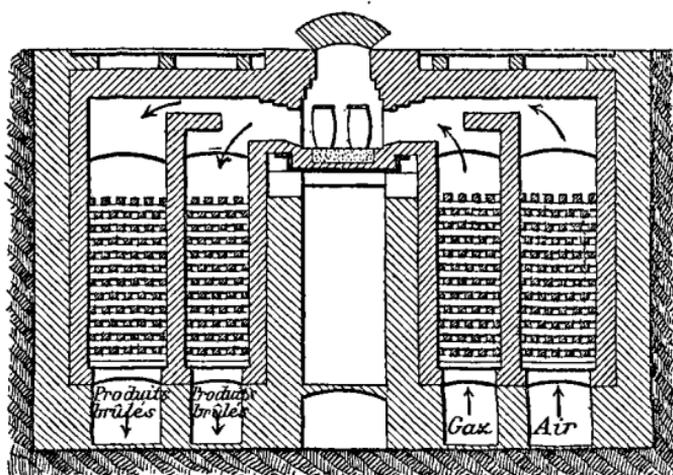


Fig. 18. — Four à creusets.

la grille à pétrole qu'il avait imaginée, à la fusion de l'acier au creuset.

L'idée d'appliquer les régénérateurs Siemens à ce procédé d'élaboration était toute naturelle, et de fait, elle vint presque spontanément dès que les fours Martin se furent répandus.

Le chauffage au gaz permet de réaliser les températures nécessaires pour la fusion de n'importe quel acier.

Tandis que les anciens fours à vent ne contenaient qu'un nombre assez limité de creusets, les fours Siemens actuels en contiennent d'ordinaire 18 à 24 sur deux rangs.

La *fig.* 18 montre une coupe transversale d'un four à creusets perpendiculairement à sa longueur.

Les notions concernant les gazogènes développées plus haut s'appliquent intégralement à ce genre de four.



CHAPITRE II

TYPES DE FOURS DÉRIVÉS DU SIEMENS

Nous étudierons spécialement dans ce chapitre les modifications apportées au four *Siemens* proprement dit dont l'étude est terminée, que ces modifications se rapportent à l'application même du principe de la régénération de la chaleur ou à l'organisation des différents éléments du four-type précédemment décrit.

I. — FOUR BIEDERMANN ET HARVEY

En 1889-1890, la maison Siemens annonçait qu'à la suite d'un perfectionnement apporté aux fours à gaz, on pouvait réaliser désormais, dans ces appareils, une économie de 50 % de combustible.

Les plans primitifs établis en premier lieu par MM. Pouff et Head furent bientôt modifiés et

complétés par les dispositifs de MM. Biedermann et Harvey constituant le four dont il va être question.

Nous décrirons d'abord le principe sur lequel repose cet appareil et nous discuterons ensuite son rendement calorifique.

1. Description et fonctionnement du four.

— Le gaz combustible est produit dans un gazogène placé très près du laboratoire du four ; ce gazogène n'est pas alimenté d'air froid, mais d'une triple manière :

a) *Au moyen d'une partie des gaz brûlés* dans la combustion des gaz combustibles sur la sole ; à cet effet, les produits brûlés ne se rendent pas en totalité à la cheminée, une partie est directement injectée sous la grille dans le cendrier.

b) *Au moyen d'air chaud* pris directement dans l'une des chambres de récupération. C'est là la modification profonde apportée par MM. Biedermann et Harvey aux plans primitifs de MM. Pouff et Head. L'injection exclusive des produits brûlés dans le gazogène constituait le fond même de l'invention de ces derniers ingénieurs.

c) *Au moyen d'un troisième injecteur* placé dans le cendrier aspirant de l'air froid et permettant de régler plus aisément l'admission d'air

et, par suite, la quantité de gaz produits. Cet injecteur réalise surtout le refroidissement du

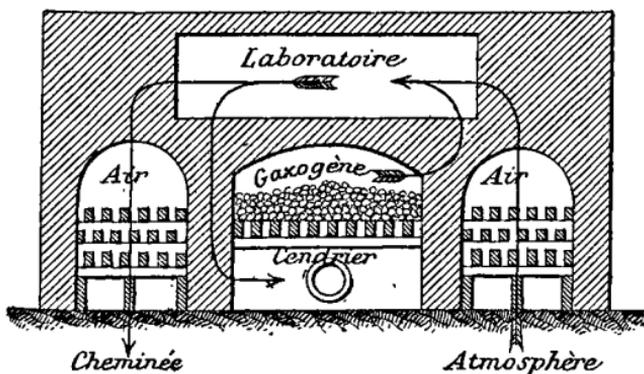


Fig. 19. — Première phase.

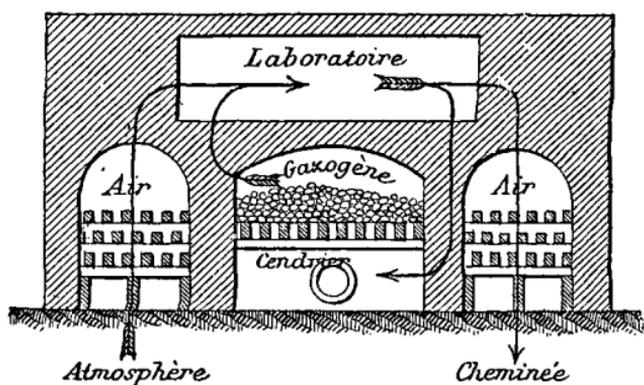


Fig 19. — Deuxième phase.

cendrier qui ne tarderait pas à se brûler s'il restait exclusivement alimenté d'air chaud et de produits brûlés.

Les deux injecteurs communiquant des cendriers aux chambres sont constamment ouverts, insufflant à peu près quantités égales d'air chaud et de produits brûlés ; mais ces gaz étant l'un et l'autre à des températures trop élevées, on les dilue avec de l'air froid et, pour cela, on se sert du troisième injecteur, de façon à obtenir sous le cendrier une température d'environ 450°.

Dans ces conditions, la proportion de produits brûlés repassant sous la grille est très faible par rapport à la masse des gazéfiants, environ $\frac{1}{5}$ de produits brûlés contre $\frac{4}{5}$ d'air chaud ou froid. Le gaz produit est cependant plus chargé en acide carbonique que celui d'un gazogène ordinaire et en contient 9 à 11 %.

Les croquis schématiques de la *fig. 19* suffisent pour faire comprendre le fonctionnement de l'appareil selon que l'appareil d'inversion a fait passer l'air dans la chambre unique de droite ou dans la chambre unique de gauche.

2. Sur le rendement du four. — Le grand avantage de ce four paraît surtout consister dans la réunion de toutes les modifications utiles apportées successivement aux fours *Siemens* proprement dits et non dans l'emploi de l'acide carbonique comme gazéifiant qui était pourtant l'idée fondamentale des inventeurs.

Les pertes de chaleur par conductibilité ont été réduites au minimum ; car, d'une part, les gazogènes sont accolés au four lui-même de telle façon que leur rayonnement est limité à deux parois, la façade et la paroi supérieure, et, d'autre part, le rayonnement des chambres est très diminué car, au lieu de quatre, il n'en existe plus que deux.

Enfin les injecteurs, sauf toutefois celui des gaz brûlés, semblent satisfaire à tous les desiderata formulés jusqu'ici pour l'enrichissement des gaz.

Reste à examiner l'emploi de l'acide carbonique des gaz brûlés comme gazéifiant.

/ Nous ne saurions mieux faire que de citer le passage suivant d'un mémoire de M. l'ingénieur Damour, inséré, en 1893, dans les *Annales des Mines* :

« La promesse de 50 % d'économie sur le combustible était fondée sur ce fait que, d'après la réaction bien connue : $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$, l'emploi de l'acide carbonique permet avec un même poids de charbon de donner un volume d'oxyde de carbone double de celui que donnerait l'oxygène. Le fait est exact et il faut convenir avec MM. Siemens que, pourvu que le four ait une température élevée, il n'y a pas impossibilité à

alimenter les gazogènes de produits brûlés et qu'on peut obtenir par là une quantité de gaz plus grande, le gaz pouvant d'ailleurs être aussi riche qu'avec un gazogène ordinaire. Mais MM. Siemens ne se sont pas préoccupés de voir où était emprunté cet excédent de calories disponibles à la sortie des gazogènes, lequel ne peut évidemment venir du combustible ; ils ont admis qu'il était puisé dans la chaleur perdue des fumées, et là est le point faible du raisonnement. Ces calories sont, en réalité, empruntées au four lui-même pour lui être rendues immédiatement, parcourant ainsi un cycle fermé, sans aucun avantage, ni pour la température du four, ni pour la récupération. La quantité d'acide carbonique envoyée dans la grille ne modifie en rien celle qui s'échappe par la cheminée, les fumées ne dépendant évidemment que du poids de houille brûlée. L'acide carbonique soustrait aux fumées retourne au four et doit toujours s'échapper par la cheminée, et (en supposant le cas de la gazéification par CO^2 seulement) il en résulte que chaque molécule de carbone passe deux fois dans le four, que la masse des fumées se trouve doublée, comme l'est la masse du combustible.

« Il y a là deux effets qui se détruisent »
(*Annales des Mines*, 1893, p. 126).

En résumé, on a espéré récupérer la chaleur sur une partie des produits brûlés d'une quantité précisément égale à celle qu'on peut détourner de la cheminée, l'effet est donc nul ; la régénération du carbone n'existe pas.

Ces réserves faites, on ne peut que rendre hommage à la création des inventeurs qui ont su constituer un four réunissant un grand nombre d'avantages signalés ci-dessus.

II. FOUR BATHO

Dans le four *Batho* (*fig. 20*) qu'on rencontre surtout dans quelques installations à l'étranger, les quatre chambres de récupération ne sont plus dans l'infrastructure, elles sont isolées, reposent directement sur le sol général de l'usine et sont garnies extérieurement d'une enveloppe en tôle.

La sole du four est, au contraire, surélevée et repose sur une plate-forme en fer, et comme l'espace en dessous du four est entièrement libre, la sole est constamment rafraîchie. On obvie ainsi à l'inconvénient d'avoir un poids énorme de maçonnerie surchargeant les chambres, avec la crainte d'infiltration de métal fondu

dans ces chambres, au cas de perçage de la sole ou de fractures dans le four.

Les canaux d'introduction et de sortie des gaz et de l'air dans le laboratoire se font en tuyaux légers et portatifs en tôle ou en fonte, l'intérieur et l'extrémité étant garnis de produits réfractaires et les joints protégés par du sable.

Les arrivées d'air et de gaz sont disposées de telle sorte que l'air arrive verticalement sur le courant inférieur du gaz ; par ce croisement à

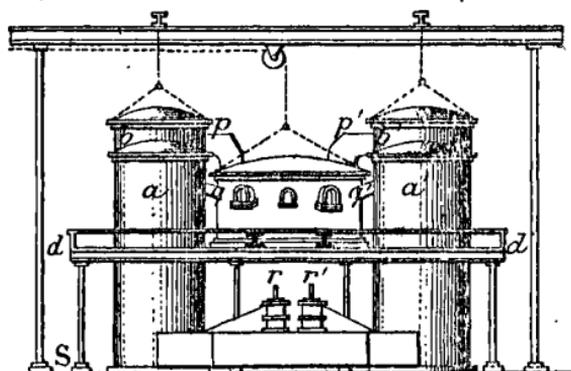


Fig. 20. — Four Batho.

a, a', b, b', chambres de régénération ; *d, d'*, plate-forme supportant le four proprement dit ; *p, p'*, canaux à air ; *q, q'*, canaux à gaz ; *r, r'*, registres pour la manœuvre des appareils d'inversion ; *S*, niveau général du sol.

angle droit, on obtient un mélange intime qui favorise la combustion parfaite avec une flamme vive dirigée sur le bain, protégeant ainsi la voûte du four et les ouvertures d'entrée et de

sortie des gaz et de l'air qui sont les éléments les plus délicats et les plus difficiles à maintenir en bon état dans les fours Siemens. C'est en ce dispositif dont nous ne donnons pas le détail de construction que consistent les brûleurs Hackney associés toujours au four Batho.

En terminant, on peut signaler que la construction de ce four permet d'éviter les profondes excavations pratiquées dans le sol pour les fours Siemens ordinaires et rend le travail des ouvriers moins pénible puisque leurs pieds ne reposent plus sur des plaques métalliques échauffées en dessous par des chambres de récupération.

Il faut ajouter toutefois que les pertes de chaleur par conductibilité ne peuvent qu'être considérables.

III. RÉGÉNÉRATEURS A PÉTROLE

Le professeur russe Kroupsky a eu récemment l'idée d'appliquer le principe de Siemens aux combustibles liquides en utilisant le pétrole comme combustible.

Ce four (*fig. 21*) construit surtout pour fondre le verre, et l'on sait, du reste, quelle large place

occupent les fours Siemens dans l'industrie de la verrerie, peut être très utilement appliqué aux opérations métallurgiques.

Comme dans le type ordinaire Siemens sont établies quatre chambres de régénération ; mais le fonctionnement de la régénération ne s'y fait

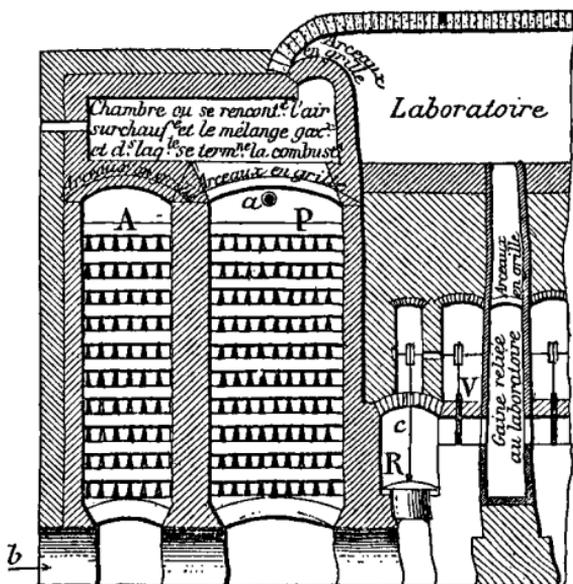


Fig. 21. — Régénérateur Kroupsky.

a, arrivée du pétrole sous pression ; b, arrivée d'air ; c, chambre reliée à la cheminée ; A, chambre à air chaud ; P, chambre à pétrole ; R, registre en tôle ; V, valve.

pas cependant de la même manière, on y rencontre des différences qui sont inévitables car le combustible à utiliser est liquide.

Il faudra donc, d'une part, lui faire parcourir les chambres de récupération d'une façon appropriée puisqu'on ne peut plus compter, comme avec les gaz combustibles, sur la force ascensionnelle.

D'autre part, il y aura lieu d'en régler la combustion de manière à éviter les mélanges détonants.

L'étude de l'organisation du four qui va suivre montrera comment on est arrivé à satisfaire à ces deux conditions primordiales.

a) *Rôle des chambres de régénération.* — Le four a quatre chambres, deux à droite, deux à gauche. Ne considérons qu'un groupe, celui des deux chambres de gauche, par exemple ; l'organisation du groupe de droite étant identique.

Les deux chambres ont des capacités inégales, celle qui est la plus rapprochée du laboratoire étant la plus grande.

C'est cette chambre qui reçoit le pétrole arrivant sous pression par l'orifice *a* à sa partie supérieure. Si l'on suppose cette chambre préalablement incandescente le pétrole se décomposera au contact des briques échauffées des rangs supérieurs et aux dépens de l'air introduit en *b*. La zone de combustion du pétrole se trouvant circonscrite aux couches supérieures des briques,

aucun mélange détonant ne peut se former. Les couches inférieures de briques ne reçoivent jamais de pétrole et ne servent qu'à chauffer l'air.

La chambre à pétrole P est pourvue, à sa partie supérieure, d'une série d'arceaux formant grille, à travers laquelle passent les gaz enflammés pour atteindre la chambre de combustion précédant immédiatement le laboratoire. De cette dernière chambre, les gaz pénètrent dans le laboratoire proprement dit après avoir rencontré une seconde série d'arceaux constitués dans la paroi de séparation.

Il va sans dire que ces arceaux, ainsi que toutes les parties du four qui les avoisinent, se trouvent toujours à l'état incandescent dans la chambre où se parachève la combustion.

A côté de la chambre à pétrole P, et séparée d'elle par un mur épais, se trouve une chambre A de capacité plus petite et qui, échauffée par conductibilité, reçoit, comme la chambre à pétrole, de l'air par l'ouverture *b*. Cet air parcourt de bas en haut cette chambre A et arrive réchauffé dans la chambre de combustion pour finir de brûler les éléments combustibles ; le régénérateur A est séparé de la chambre de combustion par un dispositif identique à celui de la chambre P, avec cette différence que les arceaux

dont cette grille est formée sont en ordre alterné avec ceux qui constituent la grille de la chambre P.

Les gaz brûlés, après avoir parcouru le laboratoire donnant la chaleur nécessaire pour l'opération métallurgique que l'on a en vue, gagnent la cheminée après avoir cédé le reliquat des calories encore disponibles aux briques des deux chambres semblables aux chambres P et A du groupe de droite.

Quand ces chambres sont arrivées à la chaleur voulue, il faut, comme on sait, procéder au renversement des rôles de chacun des groupes ; c'est ce que nous allons expliquer.

b) Appareil d'inversion. — En général, l'inversion a lieu deux fois par heure, mais ce n'est pas une règle absolue.

On commence d'abord, par une manœuvre de robinets, à faire cesser l'arrivée du pétrole dans la chambre P pour le faire pénétrer dans la chambre à pétrole du groupe de droite par l'ouverture correspondante.

L'entrée d'air *b* est fermée, alors qu'on ouvre l'entrée d'air inférieure du groupe de droite.

Tandis que le registre en tôle R était baissé, comme l'indique la *fig.* 21, lorsque le groupe de gauche marchait à la combustion, il faudra le

relever lorsqu'on fera le renversement pour lui substituer le groupe de droite. Les produits brûlés, puisque l'ouverture *b* sera fermée, se rendront dans la chambre *c* qui les évacuera dans l'atmosphère, la chambre *c* étant reliée d'autre part à la cheminée.

Enfin, le groupe de gauche fonctionnant à la combustion, comme on l'a supposé dans les explications précédentes relatives à la marche des régénérateurs, on pourra, pour activer le chauffage du laboratoire, agir sur la valve *V* en la relevant pour faire passer par des carneaux latéraux une partie de la flamme dans la gaine axiale recouverte d'une série d'arceaux formant grille.

La description du régénérateur Kroupsky nous a paru nécessaire pour donner une idée suffisante de ce genre de four ; il nous semble inutile d'entrer dans le détail des autres variantes imaginées par divers constructeurs.

Les différences consistent surtout dans la position relative des chambres à air ou à pétrole, dans le nombre plus ou moins grand de ces dernières dans chacun des groupes, dans la distribution plus ou moins intermittente du pétrole, etc.

Il nous aura suffi de les signaler, le principe général du fonctionnement de ces fours étant identique à celui du four dont il vient d'être question.

CHAPITRE III

APPAREILS FONDÉS SUR LE PRINCIPE DE LA CONDUCTIBILITÉ DE LA CHALEUR

Dans les appareils qui ont été étudiés dans les chapitres précédents et qui sont fondés sur le principe, assez improprement désigné du reste, de la régénération de la chaleur, on a, en somme, un canal tour à tour parcouru lentement en sens inverse par les gaz brûlés qui cèdent leur chaleur et par le vent ou air qui l'enlève de nouveau aux parois chauffées.

Dans les appareils fondés sur le principe de la *conductibilité*, on dispose d'une *double série de carneaux* ou de *conduits*, dont les uns sont parcourus par l'air, les autres par les flammes ou gaz brûlés. La chaleur se *transmet au travers* des cloisons qui isolent les conduits.

Ces appareils sont les plus anciens, et marquent la première utilisation de l'air échauffé

pour obtenir une meilleure combustion dans les foyers, mais comme ils ont presque partout cédé la place aux appareils fondés sur la régénération, nous nous contenterons de donner à leur sujet quelques rapides indications.

Les appareils fondés sur le principe de la conductibilité firent leur apparition vers 1828 et reçurent le nom d'*appareils à air chaud*. On avait pour but, à l'époque, de lancer par les tuyères des hauts-fourneaux à fonte de fer de l'air chaud au lieu de l'air froid jusqu'alors employé.

C'est J. Neilson, ingénieur de l'usine à gaz de *Glasgow* (Écosse) qui imagina les premiers modèles. Il se servit d'abord de caisses en tôle, puis de longs tuyaux en fonte, assemblés horizontalement, suivant une même ligne. A ces longs tuyaux dont les joints étaient promptement détruits par les variations incessantes de la température, on ne tarda pas à substituer deux systèmes qui furent conservés pendant longtemps et qu'on peut encore retrouver aujourd'hui. L'un des systèmes consiste en une série de tuyaux peu allongés, tous ployés comme des *siphons* ; l'autre est un long conduit unique, plusieurs fois replié à la façon d'un *serpentin*. Ces appareils sont connus, en *France*, sous les

noms des deux usines où ils furent d'abord installés, le premier se nomme appareil Calder (Écosse), le second, appareil Wasseraalngen (Württemberg).

Puis, quand le principe de la régénération de la chaleur fut connu, ces appareils à air chaud furent successivement remplacés dans les usines productrices de fonte par des appareils Cowper, Whitwell, etc., dont la description et le fonctionnement ont été donnés dans un volume de cette Encyclopédie : *Fabrication de la fonte*.

Pendant que, dans la métallurgie de la fonte, on cherchait à constituer des appareils susceptibles d'envoyer de l'air chaud par les tuyères des hauts-fourneaux, on s'occupait parallèlement dans l'industrie du fer et de l'acier à réaliser une combustion plus complète par de l'air surchauffé dans les appareils de réchauffage ou de fusion, en mettant également à contribution le principe de la conductibilité.

Ces recherches ressortissent directement à notre sujet.

Dans les appareils de hauts-fourneaux, c'est la fonte dont on constituait les tuyaux qui était choisie comme intermédiaire pour la transmission de la chaleur ; dans les appareils de réchauffage ou de fusion du fer et de l'acier, c'est

l'argile réfractaire de prix relativement peu élevé et sous forme de briques qui fut choisie.

Le choix de la fonte s'explique aisément dans le premier cas, car sa conductibilité est d'abord très grande, mais elle donne surtout des appareils étanches, dès que le vent est sous forte pression, comme il arrive pour les hauts-fourneaux.

L'argile réfractaire, à cause de son prix peu élevé, convient surtout pour le chauffage de l'air simplement aspiré par voie de tirage naturel comme c'est le cas de la plupart des foyers de réchauffage ou de fusion du fer et de l'acier.

Les plus connus parmi ces derniers appareils sont les fours Boëtius et Ponsard.

Le four Boëtius est un générateur à doubles parois, entre lesquelles circule l'air qui doit plus tard brûler les produits du gazogène. On utilise ainsi, dans ce foyer, pour le chauffage de l'air de combustion, la chaleur qui se perd dans les foyers ordinaires, par transmission directe au travers des parois.

Dans le four Ponsard, on fait passer les produits de la combustion par une série nombreuse de carneaux parallèles reliant le laboratoire à la cheminée. Ces carneaux sont à minces parois et isolés les uns des autres par un ensemble de

conduits semblables, que parcourt en sens inverse, l'air aspiré par le foyer. On utilise ainsi par voie de chauffage méthodique, une partie de la chaleur qui, dans les fourneaux ordinaires, se dissipe en pure perte par les cheminées.

Un gazogène est, en outre, accolé au four engendrant le gaz combustible que brûlera l'air chauffé par son passage dans les conduits multiples qu'auront réchauffés par conductibilité les gaz brûlés se rendant à la cheminée.

Le four à puddler au gaz imaginé par M. Piecka de Witkowitz (Moravie) peut être cité

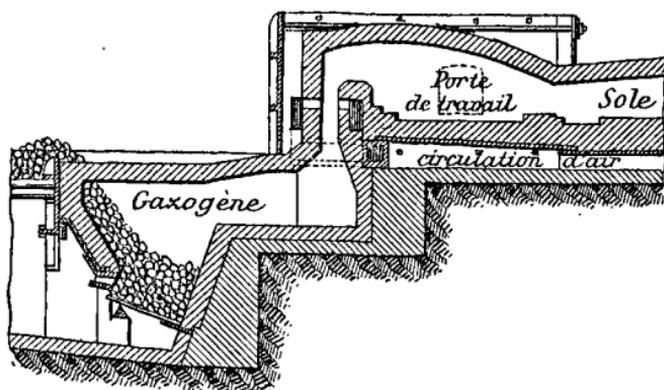


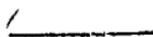
Fig. 22. — Four Bicheroux.

comme constituant un appareil perfectionné fondé sur l'application du principe précédent.

Dans le four Bicheroux (*fig. 22*), bien connu

138 APPLICATION DU PRINCIPE DE LA CONDUCTIBILITÉ

dans les usines sidérurgiques, au lieu d'utiliser un dispositif aussi compliqué de conduits ou de carneaux, on se contente simplement de faire circuler sous la sole du four, l'air qui devra brûler le gaz combustible fourni par le gazogène accolé au four.



TITRE IV

MATERIAUX RÉFRACTAIRES

Les matériaux réfractaires constituent le revêtement intérieur des appareils métallurgiques.

Nous les subdiviserons en trois classes :

1° *Les matériaux formant des garnitures acides* ; ces matériaux sont toujours siliceux.

2° *Les matériaux formant des garnitures basiques* ; ces matériaux sont constitués par des bases telles que la chaux, la magnésie, l'oxyde de fer, etc., ou par des substances minérales telles que la dolomie, etc.

3° *Les matériaux formant des garnitures neutres* ; ces matériaux sont uniquement constitués, actuellement du moins, par des minerais de chrome.

CHAPITRE PREMIER



MATÉRIAUX ACIDES

Les matériaux acides sont de beaucoup les plus employés ; ils servent à faire les revêtements intérieurs des hauts-fourneaux, des appareils à air chaud servant à échauffer le vent qu'on lance par les tuyères, des fours à réchauffer, des fours Martin-Siemens quand on ne cherche pas à déphosphorer, etc.

On emploie ces matériaux sous forme de briques ou sous forme de pisé ; ils servent aussi à la confection des creusets pour la fusion de l'acier.

I. BRIQUES

Les briques employées en sidérurgie sont de deux sortes : celles en argile réfractaire ordinaire formant la majeure partie des matériaux réfractaires, d'une part, et celles en silice à peu

près pure nécessaires dans les appareils chauffés à très haute température.

a) *Briques argilo-siliceuses.* — L'argile est, comme on sait, un silicate d'alumine dont la composition s'éloigne assez de la formule théorique.

Une argile cesse d'être *réfractaire* dès que la proportion des éléments étrangers y varie entre 6 et 10 %; l'influence des bases étrangères sur la fusibilité dépendant des proportions de silice et d'alumine qu'elle contient.

Si l'argile est siliceuse, 3 à 4 % de bases étrangères suffisent à la rendre fusible; si elle est alumineuse, 6 à 7 % de ces mêmes bases la rendent à peine fusible.

Mais l'argile présente le grave inconvénient, pour la construction des appareils métallurgiques, de se contracter sous l'action de la chaleur, et cela d'autant plus qu'elle est plus plastique, c'est-à-dire plus riche en alumine. Aussi pour y obvier, ajoute-t-on à l'argile crue un *ciment* dont le but est de l'*amaigrir*, ce ciment étant du quartz broyé, ou de l'argile cuite réduite en poudre, ou du coke pulvérisé.

La fabrication des briques comprend un assez grand nombre d'opérations qu'il nous suffira d'indiquer, à savoir :

La *détermination des proportions relatives d'argile crue et de ciment* et le *mélange* de ces matières;

Le *pétrissage* par piélinement ou à l'aide de malaxeurs mécaniques ;

Le *pourrissage* ou l'abandon à l'air humide pendant plusieurs semaines de la pâte formée par le pétrissage, opération que la pratique de la fabrication des briques estime nécessaire ;

Le *moulage*, le *séchage* et la *cuisson*.

Il y a lieu d'ajouter qu'avant d'employer l'argile crue et le ciment, on les soumet à des préparations préliminaires ayant surtout pour but d'en éliminer les matières étrangères et de les amener à l'état de poussier.

b) *Briques de silice*. — Ces briques sont faites avec du quartz en filon ou sous forme de cailloux roulés.

Le quartz est d'abord chauffé au rouge, c'est le *grillage*, puis il est projeté dans l'eau froide, c'est ce qu'on appelle l'*étonner*.

Il devient alors facile, après cette opération, de procéder à son *broyage*.

Pour agglutiner le poussier de silice ainsi obtenu, on y ajoute 2 à 3 % de chaux environ ; la pâte formée est alors placée dans des moules où on la comprime à la presse hydraulique.

On procède ensuite au *séchage* et à la *cuisson*.

Non seulement ces briques sont éminemment réfractaires, mais elles possèdent, en outre, l'avantage de se dilater sous l'action de la chaleur ce qui les rend particulièrement aptes à la construction des voûtes (1).

II. CREUSETS ET PISÉS

a) *Creusets*. — On ne peut faire les creusets en silice pure à cause de la trop grande friabilité des produits ainsi obtenus ; aussi est-on obligé de recourir à l'argile, quitte à remplacer les creusets au bout de quelques opérations.

On incorpore toujours à l'argile une certaine quantité de coke (5 %) qui hâte le séchage et donne au creuset une plus grande consistance à chaud.

Les matières premières ayant été pulvérisées et tamisées avec soin, on y mélange souvent des débris ou *écaillages* de vieux creusets également réduits en poussier. Après humectation et tri-

(1) Les joints des maçonneries réfractaires sont remplis avec un coulis ou mortier fluide fait avec des matières réfractaires finement pulvérisées et amaigries autant que possible.

turation de la pâte, on place un poids déterminé de cette pâte dans le fond d'un moule métallique préalablement enduit d'huile de lin. On chasse ensuite à force dans ce moule un noyau en métal guidé par une longue broche en fer traversant le fond du moule. Le noyau est enfoncé à la profondeur requise pour laisser à la base du creuset une épaisseur convenable ; on façonne ensuite la partie haute en tronc de cône après en avoir retiré le noyau.

Le creuset étant sorti du moule est séché, bouché au trou du noyau et soumis à un recuit.

b) *Pisés*. — Les pisés se font, en général, avec de l'argile aussi maigre que possible, ou avec des sables siliceux qui ne sont autre chose que des grés sans cohérence dont les éléments quartzeux sont incomplètement agglutinés par de l'argile.

On procède pour les faire par simple *battage* en cuisant progressivement dans l'appareil où on les a placés.

III. COMPOSITION DES MATERIAUX ACIDES LES PLUS EMPLOYÉS EN FRANCE

a) *Types d'argiles pour la fabrication des briques.*

Désignation	Silice	Alumine	Bases étrangères { MgO CaO Fe ₂ O ₃	H ₂ O et perte au feu
Terre de Bollène (Vaucluse) . . .	56,50	25,50	2,25	15
Terre de Courpière (Puy-de-Dôme) .	71,80	19,85	7,15	"
Terre de Mâcon (Saône-et-Loire) .	63 "	25 "	5 "	6
Terre de Bagnol et Mussidan . . .	51,67	37,20	9,90	"

La terre de *Bagnol* et de *Mussidan* convient surtout très bien pour la fabrication des creusets.

b) *Types de briques de silice.*

Briques de Dinas (Angleterre) (très recherchées)

Silice : 98,31 ; Alumine : 0,72 ; Bases étrangères : 0,54

Briques d'Assailly (Loire)

Silice : 96,80 ; Alumine : 0,20 ; Bases étrangères : 0,70

CHAP. — Élaboration des métaux dérivés du fer, 1 10

c) *Types de quelques sables très employés pour pisés.*

Désignation	Silice	Alumine	Peroxyde de fer	Chaux et magnésia	Phosphore et soufre	Perte au feu
Sable blanc de Sainte-Egrève.	89,50	6,30	1,43	1,76	0,12	//
Sable rose de Sainte-Egrève.	88,70	7 //	2 //	1,48	0,13	//
Terre de Voreppe (Isère). . . .	82,5	3,3	3,2	3,5 0,6	//	6,0

CHAPITRE II



MATÉRIAUX BASIQUES ET NEUTRES

Nous avons dit que l'emploi des matériaux basiques ou neutres s'imposait lorsqu'on se proposait d'éliminer le phosphore des métaux ferreux à obtenir. Il n'est pas encore possible, sans anticiper sur les théories du second volume de cette étude, d'en donner une justification détaillée et précise ; cependant, on conçoit sans peine qu'avec un revêtement basique ou neutre les phosphates formés par des réactions appropriées auront une stabilité qu'ils n'auraient pas en présence de la silice, acide plus fixe que l'acide phosphorique. Ces phosphates, s'ils sont suffisamment fluides, pourront donc être retirés du bain, à un moment donné de l'opération, en s'écoulant avec les autres produits d'élimination.

I. MATÉRIAUX BASIQUES

Nous passerons successivement en revue les principales substances se trouvant en plus ou moins grande abondance dans la nature et susceptibles de constituer des revêtements basiques.

Tout d'abord, les *minerais de fer* utilisés pour les soles de certains fours à puddler ou, ce qui est équivalent, les oxydes de fer, utilisés dans le plus grand nombre de ces appareils, ne sauraient convenir aux très hautes températures ; soit parce qu'ils n'y résistent pas, soit parce qu'au contact des matières en fusion, ils réagissent violemment sur elles en occasionnant des projections dangereuses de métal fondu.

La *bauxite*, minéral assez abondant en Provence (Les Baux près d'Arles), peut être employée sous forme de briques ; mais, comme elle n'est autre chose qu'un hydrate d'alumine plus ou moins ferrugineux, il arrive qu'en présence de certaines matières elle ne joue pas toujours un rôle franchement basique, l'alumine pouvant se comporter comme un acide. Aussi son emploi ne s'est-il pas généralisé.

Le *carbonate de magnésie* préalablement calciné, qu'on rencontre dans l'île d'Eubée, en Styrie et en Silésie, constitue une matière basique excellente. Ses gisements sont malheureusement assez rares, d'où il en résulte pour cette matière un prix de revient élevé ; on reprocherait, en outre, à cette base d'être trop tendre.

Pendant longtemps, on a cru que la *chaux vive* ne pourrait être employée ; elle est, en effet, trop sèche et pulvérulente et, de plus, il est impossible de la mélanger avec de l'eau à cause de l'action chimique qui se produit. Certaines usines ont pu toutefois l'utiliser en l'humectant avec un liquide à bon marché sans action sur elle (pétrole, huile de houille ou de résine dans la proportion de 5 à 10 %), en la comprimant fortement dans des moules à briques et en soumettant enfin à la cuisson les briques ainsi obtenues.

Bien des usines fabriquent encore leurs briques basiques en *calcaire cru*, la calcination n'étant faite qu'après moulage.

Mais de toutes les substances basiques, la dolomie est signalée par tous les constructeurs comme donnant les meilleurs résultats. Ce carbonate de chaux, d'alumine et de magnésie qu'on trouve dans l'Est de la France, en Alsace

et en grande abondance dans les Alpes autrichiennes, est d'un emploi à peu près général aujourd'hui.

La dolomie employée ne doit pas être trop pure, sans quoi elle cuit mal.

Les meilleures dolomies sont celles qui ont 1 de magnésie pour 2 de chaux. Les oxydes métalliques ne doivent pas dépasser 2 à 3 %, la silice et l'alumine réunies 10 %, et plus ces 10 % contiendront d'alumine, meilleures seront les briques; mais plus aussi elles seront difficiles à cuire.

Si la dolomie n'a pas une composition convenable, on lui ajoute les éléments qui lui manquent. Elle est alors finement broyée, humectée, puis moulée en briques, soit à la main, soit par compression mécanique. On fait ensuite sécher pendant 15 jours environ en ayant soin de manipuler avec précaution à cause de la très grande friabilité de la matière. Il ne reste plus qu'à calciner à haute température.

Quand les briques sont retirées du four, on les plonge dans le goudron anhydre, de façon à les préserver du contact de l'air; sans cette précaution, les meilleures briques absorberaient à la longue l'humidité et l'acide carbonique de l'air et finiraient par tomber en poussière.

En ce qui concerne la fabrication des *pisés* avec le calcaire ou la dolomie, il y a lieu de remarquer que ces matières prenant une contraction linéaire de 25 % environ quand elles sont exposées à la température de fusion de l'acier, il n'est pas possible de confectionner les *pisés* avec ces matériaux crus.

Le carbonate de chaux ou calcaire n'est employé qu'après avoir été préalablement calciné à très haute température.

Quant à la dolomie, on commence par lui donner la composition convenable ; si elle l'a naturellement, il n'y a pas besoin de la réduire en poussier. Une fois bien calcinée, elle présente une surface bien brillante et douée d'une grande dureté ; elle est alors pulvérisée avec un broyeur puissant (*généralement un broyeur Carr*) puis mélangée intimement avec 3 à 10 % de goudron privé d'eau par une ébullition prolongée ; c'est avec ce mortier qu'on fait le *pisé*. Pour que la dolomie n'absorbe pas trop de goudron et que son agglomération soit facile, on a soin de ne pas la broyer trop finement.

II. MATÉRIAUX NEUTRES

Les matériaux basiques sont onéreux, ils prennent sous l'action de la chaleur des retraits qui ne sont pas toujours comparables d'un point à un autre ; enfin, ils ne sont pas absolument inattaquables au contact des différents produits engendrés par les réactions s'effectuant dans les appareils d'élaboration.

MM. Valton et Rémaury ont proposé, il y a déjà une quinzaine d'années au moins, de prendre comme substance répondant à ces divers desiderata le *minerai de chrome* qui n'est autre chose que le fer chromé des minéralogistes.

Il semble aujourd'hui établi, après les expériences faites par les constructeurs d'appareils métallurgiques, que ce minerai résiste aussi bien aux produits acides qu'aux produits basiques engendrés en cours d'élaboration de l'acier, et c'est ce qui justifie le nom de *neutres* donné aux revêtements qui en sont constitués.

Il restait à trouver le moyen de relier les fragments de minerais, de forme généralement irrégulière, de les agglomérer ensemble, de manière à obtenir un garnissage compact et solide. On ne tarda pas à reconnaître que le seul agglomérant

qui ne faisait rien perdre à ce minéral de ses caractères d'infusibilité et de neutralité était la chaux employée à très faible dose. Par suite, on agglomère les fragments de minerai à l'aide d'un mortier obtenu en mouillant un mélange de minerai de chrome finement broyé avec de la chaux.

Pour protéger le garnissage neutre, on le recouvre après cuisson au rouge cerise clair pendant près de 48 heures, d'une couche de quelques centimètres de calcaire ordinaire ou dolomitique broyés, formée graduellement par mises de quelques millimètres d'épaisseur en opérant absolument comme pour établir la sole en sable dans le procédé acide.

Jusqu'à présent du moins, le minerai de chrome n'a servi que pour des revêtements de sole, employé à l'état brut comme nous venons de le dire.

BIBLIOGRAPHIE

I. MÉTALLURGIE GÉNÉRALE

- HASSENFRATZ. — *La sidérotechnie* (Paris, Firmin-Didot, 1812).
- DUFRENOY et ELIE DE BEAUMONT. — *Voyage métallurgique en Angleterre* (Paris, 1827).
- KARSTEN. — *Manuel de la métallurgie du fer* (Trad. Culmann. Metz, Thiel, 1830).
- VALERIUS. — *Traité théorique et pratique de la fabrication de la fonte* (Paris, Liège, Mathias, 1851).
- PERCY. — *Traité complet de métallurgie* (Traduction Petigrand et Ronna. Paris, Baudry, 1864).
- GRUNER (L.). — *De l'acier et de sa fabrication* (Paris, Dunod, 1867).
- JORDAN (S.). — *Album du cours de métallurgie professé à l'École centrale des arts et manufactures* (Paris, Baudry, 1874-1875).
- GRUNER (L.). — *Traité de métallurgie*, t. 1 et 2. (Dunod, Paris, 1875 et 1878).
- DELÉVAQUE. — *De la métallurgie du fer dans le bassin du Rhône* (Mémoires du Génie maritime. Paris, 1878).
- DELÉVAQUE. — *De la métallurgie du fer dans l'Allier et dans Saône-et-Loire* (Mémoires du Génie maritime. Paris, 1881).
- WÜRTZ. — *Métallurgie du fer* (Supplément au Dictionnaire de chimie pure et appliquée. Paris, 1882).
- BRESSON. — *Métallurgie de la fonte et du fer* (Encyclopédie chimique. Paris, Dunod, 1888).
- HOWE. — *Métallurgie du fer* (Baudry. Paris, 1890).
- DÜRRE. — *Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten* (Leipzig, Baumgartner, 1882, 1884, 1892).

156 ÉLABORATION DES MÉTAUX DÉRIVÉS DU FER, I

HELSON (Cyriaque). — *La sidérurgie en France et à l'étranger* (Paris, Bernard, 1891-1893).

SIR LOWTHIAN BELL. — *Principes de la fabrication du fer et de l'acier* (Traduction Hallopeau. Paris, Baudry, 1888).

U. LE VERRIER. — *Cours de métallurgie professé à l'école des mines de Saint-Étienne* (Saint-Étienne, Chevalier, 1^{re} partie, 1887, 3^e partie, 1894).

II. AGENTS MÉTALLURGIQUES

A. CAJLLAUX. — *Tableau général et description des mines métalliques et des combustibles minéraux en France* (Paris, Dunod, 1875).

REGNAULT. — *Recherches sur les combustibles minéraux* (Annales des Mines, 1837).

EBELMEN. — *Recherches sur la production et l'emploi des gaz combustibles* (Annales des Mines, 1843).

GRUNER (L.). — *Des houilles* (Annales des Mines, 1874).

LENCAUCHEZ. — *Étude sur les combustibles en général et sur leur emploi au chauffage par les gaz.* (Paris, 1878).

GRAND-EURY. — *Mémoire sur la formation de la houille* (Annales des Mines, 1882).

MIRON (François). — *Les huiles minérales de pétrole, schiste, lignite* (Encyclopédie scientifique des Aide-mémoire. Paris, Gauthier-Villars, 1897).

LE GÉNIE CIVIL. — *Étude sur les combustibles liquides* (1900).

III. APPAREILS MÉTALLURGIQUES

EBELMEN. — *Nouvelles recherches sur les hauts-fourneaux* (Paris, Dunod, 1851).

GRUNER (L.). — *Étude sur les hauts-fourneaux* Annales des Mines, 1871).

- *Notice sur les Appareils à air chaud* (Annales des Mines, 1871),
- *Utilisation de la chaleur dans les fourneaux métallurgiques* (Annales des Mines, 1875).
- *Chaleur absorbée par les scories* (Annales des Mines, 1875).
- SYDNEY MARSDEN. — *Le fer en barres transformé en acier par la cémentation* (Annales de Physique et de Chimie, 1882).
- *La sidérurgie en France et à l'étranger* (Paris, Bernard, 1891-1893).
- EMILIO DAMOUR. — *Four Siemens du type Biedermann et Harvey* (Annales des Mines, 1893).
- *Le chauffage industriel et les fours à gaz* (Paris, Baudry, 1898).

Outre les ouvrages mentionnés ci-dessus, il faut citer les publications périodiques suivantes où ont paru d'importants mémoires sur la métallurgie du fer et de l'acier :

- Annales des Mines* (Dunod, Paris).
- Annales des Ponts et chaussées* (Dunod, Paris).
- Bulletin de la Société de l'Industrie minérale* (Saint-Étienne).
- Mémoire de la Société des Ingénieurs civils* (Paris).
- Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale* (44, Rue de Rennes, Paris).
- Le Génie civil* (Paris).
- Revue universelle des Mines et de la Métallurgie* (Liège).
- Stahl und Eisen* (Schröder, Düsseldorf).
- Journal of the Iron and Steel Institute* (Londres).
- The Mineral Industry* (Rothwell, New-York).
- Revue générale des Sciences* (Paris).
- Bulletin technologique des Anciens élèves des Arts et Métiers.*

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
PRÉFACE.	5

TITRE PREMIER

AGENTS CALORIFIQUES

CHAPITRE PREMIER

<i>Description des combustibles</i>	16
I. Combustibles naturels	16
II. Combustibles artificiels	25

CHAPITRE II

<i>Utilisation rationnelle des combustibles.</i>	32
I. Combustion complète	32
II. De l'élévation de la température de combustion par le chauffage préalable du combustible et du comburant.	40

TITRE II

FOYERS A CHAUFFAGE DIRECT

CHAPITRE PREMIER

<i>Foyers dans lesquels le combustible est en contact direct avec les matières en traitement</i>	48
I. Bas-foyers et fours à cuve	48
II. Appareils à combustion intermoléculaire.	54

ÉLABORATION DES MÉTAUX DÉRIVÉS DU FER, I 159

Pages

CHAPITRE II

<i>Foyers dans lesquels le combustible est séparé des matières en traitement</i>	61
I. Foyers à grille à combustible solide	62
II. Fours à pétrole	75

TITRE III

LES FOURS A GAZ

CHAPITRE PREMIER

<i>Four Siemens</i>	84
I. Le gazogène	86
II. Les régénérateurs Siemens	96
III. Le laboratoire	108
IV. Appropriation des régénérateurs Siemens aux fours de fusion servant à l'élaboration des aciers au creuset	116

CHAPITRE II

<i>Types de fours dérivés du Siemens</i>	119
I. Four Biedermann et Harvey	119
II. Four Batho.	125
III. Régénérateurs à pétrole.	127

CHAPITRE III

<i>Appareils fondés sur le principe de la conductibilité de la chaleur</i>	133
--	-----

TITRE IV

MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES

CHAPITRE PREMIER

<i>Matériaux acides</i>	140
I. Briques	140

	Pages
II. Creusets et pisés	143
III. Composition des matériaux acides les plus employés en France.	145
CHAPITRE II	
<i>Matériaux basiques et neutres</i>	147
I. Matériaux basiques	148
II. Matériaux neutres	152
BIBLIOGRAPHIE.	155

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (6^e).

Envoi *franco* contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE.

TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

RÉDIGÉ CONFORMÉMENT AU PROGRAMME DU COURS DE L'ÉCOLE CENTRALE.

PAR

ALHEILIG,

Ingénieur de la Marine.

Camille ROCHE,

Ancien Ingénieur de la Marine.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. I.) :

TOME I : Thermodynamique. Puissance des machines, diagrammes et formules. Indicateurs. Organes. Régulation. Épures. Distribution et changement de marche. Alimentation etc. ; xi-604 pages, avec 412 figures ; 1895..... **20 fr.**

TOME II : Volants régulateurs. Classification des machines. Moteurs à gaz, à pétrole et à air chaud. Graissage, joints. Montage et essais. Passation des marchés. Prix de revient, d'exploitation et de construction ; iv-560 pages, avec 231 figures ; 1895. **18 fr.**

CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

E. DEHARME,

Ing^r principal à la Compagnie du Midi.

A. PULIN,

Ing^r Insp^r p^{ri} aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche ; 1895 (E. I.). **15 fr.**

CHEMINS DE FER.

ÉTUDE DE LA LOCOMOTIVE. — LA CHAUDIÈRE.

PAR

E. DEHARME,

Ing^r principal à la Compagnie du Midi.

A. PULIN,

Ing^r Insp^r p^{ri} aux chemins de fer du Nord.

Un volume grand in-8 de vi-608 p., avec 131 fig. et 2 pl. ; 1900 (E. I.). **15 fr.**

VERRE ET VERRERIE

PAR

Léon APPERT et Jules HENRIVAUX, Ingénieurs.

Grand in-8, avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches ; 1894 (E. I.).... **20 fr**

1

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

**INDUSTRIES DU SULFATE D'ALUMINIUM,
DES ALUNS ET DES SULFATES DE FER,**

Par Lucien GESCHWIND, Ingénieur-Chimiste.

Un volume grand in-8, de VIII-364 pages. avec 195 figures; 1899 (E. I.). 10 fr.

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par C. BRICKA,

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : avec 326 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II : avec 177 fig.; 1894.. 20 fr.

COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P.).. 20 FR.

CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par J. DENFER,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 894 (E. T. P.).

TOME I : avec 479 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II : avec 571 fig.; 1894.. 20 fr.

TRAITÉ PRATIQUE

DES

CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL

ET DES

TRAMWAYS

Par Pierre GUÉDON,

Ingénieur, Chef de traction à la C^{ie} générale des Omnibus de Paris.

Un beau volume grand in-8, de 393 pages et 141 figures (E. I.); 1901..... 11 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par **Al. GOULLY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES. AVEC 710 FIG.; 1894 (E. I.).... 12 FR.

BLANCHIMENT ET APPRÊTS TEINTURE ET IMPRESSION

PAR

Ch.-Er. GUIGNET,

Directeur des teintures aux Manufac-
tures nationales
des Gobelins et de Beauvais.

F. DOMMER,

Professeur à l'École de Physique
et de Chimie industrielles
de la Ville de Paris.

E. GRANDMOUGIN,

Chimiste, ancien Préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse.

UN VOLUME GRAND IN-8 DE 674 PAGES, AVEC 368 FIGURES ET ÉCHAN-
TILLONS DE TISSUS IMPRIMÉS; 1895 (E. I.)..... 30 FR.

CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par **A. CRONEAU**,

Ingénieur de la Marine,
Professeur à l'École d'application du Génie maritime.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 ET ATLAS; 1894 (E. I.).

TOME I : Plans et devis. — Matériaux. — Assemblages. — Différents types de na-
vires. — Charpente. — Revêtement de la coque et des ponts. — Gr. in-8 de 379 pages
avec 305 fig. et un Atlas de 14 pl. in-4° doubles, dont 2 en trois couleurs; 1894. 18 fr.

TOME II : Compartimentage. — Cuirassement. — Pavois et garde-corps. — Ouver-
tures pratiquées dans la coque, les ponts et les cloisons. — Pièces rapportées sur la
coque. — Ventilation. — Service d'eau. — Gouvernails. — Corrosion et salissure. —
Poids et résistance des coques. — Grand in-8 de 616 pages avec 359 fig.; 1894. 15 fr.

PONTS SOUS RAILS ET PONTS-ROUTES A TRAVÉES MÉTALLIQUES INDÉPENDANTES.

FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX

Par **Ernest HENRY**,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 267 FIG.; 1894 (E. T. P.).. 20 FR.

Calculs rapides pour l'établissement des projets de ponts métalliques et pour le con-
trôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique
(économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES

TERRES CUITES,
PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par E. BOURRY,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 755 PAGES, AVEC 349 FIG.; 1897 (E. I.). 20 FR.

RÉSUMÉ DU COURS

DE

MACHINES A VAPEUR ET LOCOMOTIVES

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Par J. HIRSCH,

Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées,
Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

2^e édition. Gr. in-8 de 510 p. avec 314 fig.; 1898 (E. T. P.). 18 fr.

LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par Henri DE LAPPARENT,

Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, DES CLIMATS, DES SOLS, ETC., SUR LA QUALITÉ DU VIN, VINIFICATION, CUVERIE ET CHAIS, LE VIN APRÈS LE DÉCUVAGE, ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GR. IN-8 DE XII-533 P., AVEC 111 FIG. ET 28 CARTES; 1895 (E. I.) 12 FR.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par A. JOANNIS,

Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux,
Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1896 (E. I.).

TOME I: 688 p., avec fig.; 1896. 20 fr. | TOME II: 718 p., avec fig.; 1896. 15 fr.

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS VICINAUX,

Par G. LECHALAS, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT (E. T. P.).

TOME I; 1889; 20 fr. — TOME II: 1^{re} partie; 1893; 10 fr. 2^e partie; 1898; 10 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

MACHINES FRIGORIFIQUES

PRODUCTION ET APPLICATIONS DU FROID ARTIFICIEL,

Par **H. LORENZ**,

Ingénieur, Professeur à l'Université de Halle.

TRADUIT DE L'ALLEMAND AVEC L'AUTORISATION DE L'AUTEUR, PAR

P. PETIT,

Prof^r à la Faculté des Sciences de Nancy.
Directeur de l'École de Brasserie.

J. JAQUET,

Ingénieur civil,

Grand in-8 de ix-186 pages, avec 131 figures; 1898 (E. I.)... 7 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **Maurice D'OCAGNE**,

Ing^r et Prof^r à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique.

GR. IN-8, DE XI-428 P., AVEC 340 FIG.; 1896 (E. T. P.).... 12 FR.

LES ASSOCIATIONS OUVRIÈRES

ET LES ASSOCIATIONS PATRONALES,

Par **P. HUBERT-VALLEROUX**,

Avocat à la Cour de Paris, Docteur en Droit.

GRAND IN-8 DE 361 PAGES; 1899 (E. I.)..... 10 FR.

TRAITÉ DES FOURS A GAZ

A CHALEUR RÉGÉNÉRÉE.

DÉTERMINATION DE LEURS DIMENSIONS.

Par **Friedrich TOLDT**,

Ingénieur, Professeur à l'Académie impériale des Mines de Leoben.

TRADUIT DE L'ALLEMAND SUR LA 2^e ÉDITION REVUE ET DÉVELOPPÉE PAR L'AUTEUR,

Par **F. DOMMER**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris.

Un volume grand in-8 de 392 pages, avec 68 figures; 1900 (E. I.) 11 fr.

ANALYSE INFINITÉSIMALE

A L'USAGE DES INGÉNIEURS,

Par **E. ROUCHÉ** et **L. LÉVY**,

2 VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES (E. T. P.) :

TOME I: *Calcul différentiel*. VIII-557 pages, avec 45 figures; 1900..... 15 fr.

TOME II: *Calcul intégral*..... (Sous presse.)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

PREMIERS PRINCIPES
D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE

PILES, ACCUMULATEURS, DYNAMOS, TRANSFORMATEURS,

Par Paul JANET,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris,
Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité.

Quatrième édition conforme à la 3^e. — In-8, avec 169 figures; 1901. 6 fr.

COURS DE PHYSIQUE
DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par M. J. JAMIN.

QUATRIÈME ÉDITION, AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFONDUE

Par M. E. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et
14 planches sur acier, dont 2 en couleur; 1885-1891. (OUVRAGE
COMPLET)..... 72 fr.

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec
150 figures et 1 planche..... 5 fr.
2^e fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- (*) 1^{er} fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 fig. 5 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches... 5 fr.
3^e fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la cha-
leur*; avec 47 figures 5 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures 4 fr.
(*) 2^e fascicule. — *Optique géométrique*; avec 139 figures et 3 planches 4 fr.
3^e fascicule. — *Etude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur 14 fr.

TOME IV (1^{re} Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 figures et 1 planche 7 fr.
2^e fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 figures et 1 planche 6 fr.

TOME IV (2^e Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

- 3^e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures 8 fr.
4^e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES.

Tables générales, par ordre de matières et par noms d'auteurs des quatre volumes du Cours de Physique. In-8; 1891... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

1^{er} SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.

2^e SUPPLÉMENT. — *Électricité. Ondes hertziennes. Rayons X*; par E. BOUTY. In-8, avec 48 figures et 2 planches; 1899. 3 fr. 50 c.

(*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1^{er} fascicule; Tome II, 1^{er} et 2^e fascicules; Tome III, 2^e fascicule.

LEÇONS

D'ÉLECTROTECHNIQUE GÉNÉRALE

PROFESSÉES A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

Par P. JANET,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris,
Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 307 FIGURES; 1900..... 20 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LEÇONS ÉLÉMENTAIRES

D'ACOUSTIQUE ET D'OPTIQUE

A L'USAGE DES CANDIDATS AU CERTIFICAT D'ÉTUDES PHYSIQUES,
CHIMIQUES ET NATURELLES (P. G. N.).

Par **Ch. FABRY**,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Marseille.

Un volume in-8, avec 205 figures; 1898..... 7 fr. 50 c.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

MÉTÉOROLOGIE

Par **Alfred ANGOT**,

Météorologiste titulaire au Bureau Central météorologique,
Professeur à l'Institut national agronomique et à l'École supérieure
de Marine.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 103 FIG. ET 4 PL.; 1899. 12 FR.

RAPPORTS

PRÉSENTÉS AU

CONGRÈS DE PHYSIQUE

RÉUNI À PARIS EN 1900, SOUS LES AUSPICÈS DE LA SOCIÉTÉ
FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

Rassemblés et publiés par

Ch.-Éd. GUILLAUME et **L. POINCARÉ**,

Secrétaires généraux du Congrès.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES; 1900..... 50 FR

On vend séparément :

TOME I : *Questions générales. Météorologie. Physique mécanique. Physique moléculaire*..... 18 fr
TOME II : *Optique. Électricité. Magnétisme*..... 18 fr
TOME III : *Électro-optique et ionisation. Applications. Physique cosmique. Physique biologique*..... 18 fr

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ
DE LA
FABRICATION DES LIQUEURS
ET DE LA
DISTILLATION DES ALCOOLS,

Par **F. DUPLAIS** Aîné,
SEPTIÈME ÉDITION, ENTIÈREMENT REFOUNDUE

PAR
Marcel ARPIN,
Chimiste industriel.

Ernest PORTIER,
Répétiteur de Technologie agricole
à l'Institut agronomique.

DEUX VOLUMES IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT; 1900.

TOME I : *Les Alcools*. Volume de viii-613 pages avec 68 figures 8 fr.
TOME II : *Les Liqueurs*. Volume de 606 pages avec 69 figures..... 10 fr.

LA TÉLÉGRAPHIE SANS FILS,

Par **André BROCA,**

Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine.

Un volume in-18 jésus, avec 35 figures; 1896..... 3 fr. 50 c.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE D'ÉLECTRICITÉ
AVEC LES PRINCIPALES APPLICATIONS,

Par **R. COLSON,**

Commandant du Génie, Répétiteur de Physique à l'École Polytechnique.

3^e édition entièrement refondue. In-18 jésus, avec 91 fig.; 1900. 3 fr. 75 c.

DE PARIS AUX MINES D'OR
DE L'AUSTRALIE OCCIDENTALE,

Par **O. CHEMIN,**

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Volume in-8 de 370 pages, avec 116 figures dont 111 photogravures, 7 cartes
et 2 planches; 1900..... 6 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LECONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE
annexé à l'Université de Liège,

Par **Eric GÉRARD**,

Directeur de cet Institut.

6^e ÉDITION, DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : *Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques*; avec 388 figures; 1900..... 12 fr.

TOME II : *Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Applications de l'Électricité à la téléphonie, à la télégraphie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage, à la métallurgie et à la chimie industrielle*; avec 387 figures; 1900..... 12 fr.

TRACTION ÉLECTRIQUE,

Par **Eric GÉRARD**,

(Extrait des *Leçons sur l'Électricité* du même Auteur.)

Volume grand in-8 de vi-136 pages, avec 92 figures; 1900..... 3 fr. 50 c.

MESURES ÉLECTRIQUES,

Par **Eric GÉRARD**,

2^e édition, gr. in-8 de 532 p., avec 217 fig.; 1901. Cartonné toile anglaise.... 12 fr.

LES DÉCHARGES ÉLECTRIQUES DANS LES GAZ,

Par **J.-J. THOMSON**, D. Sc. F. R. S.

OUVRAGE TRADUIT DE L'ANGLAIS, AVEC DES NOTES; PAR LOUIS BARBILLION,
ET UNE PRÉFACE DE CH. ED. GUILLAUME.

Volume in-8 de xiv-172 pages, avec 41 figures; 1900..... 5 fr.

TRAITÉ DE MAGNÉTISME TERRESTRE,

Par **E. MASCART**,

Membre de l'Institut.

Volume grand in-8 de vi-441 pages, avec 94 figures; 1900..... 15 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

LEÇONS D'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

à l'usage des Élèves de Mathématiques spéciales,

Par **E. WALLON**,

Ancien Élève de l'École Normale supérieure,
Professeur au Lycée Janson de Sailly.

Un volume grand in-8, avec 169 figures; 1900 9 fr.

LEÇONS SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS

EXPOSÉ DES ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES ENSEMBLES
AVEC DES APPLICATIONS A LA THÉORIE DES FONCTIONS,

Par **Émile BOREL**,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

Un volume grand in-8; 1898 3 fr. 50 c.

LEÇONS SUR LES FONCTIONS ENTIÈRES,

NOUVELLES LEÇONS SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS.

Par **Émile BOREL**,

Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

Un volume grand in-8; 1900 3 fr. 50 c.

ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES NOMBRES

*Congruences. Formes quadratiques. Nombres incommensurables.
Questions diverses.*

Par **E. CAHEN**,

Ancien Élève de l'École Normale supérieure,
Professeur de mathématiques spéciales au Collège Rollin.

UN VOLUME GRAND IN-8 DE VIII-403 PAGES; 1900..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

THÉORIE
DES
FONCTIONS ALGÈBRIQUES
DE DEUX VARIABLES INDÉPENDANTES,

PAR
Émile PICARD,
Membre de l'Institut,
Professeur à l'Université de Paris.

SIMART,
Capitaine de Frégate,
Répétiteur à l'École Polytechnique.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I. Volume de vi-256 pages, avec figures; 1897..... 9 fr.
TOME II. (1^{er} fascicule 206 p.) Prix du volume complet pour les souscripteurs;
1900..... 14 fr.

LEÇONS
SUR LA
THÉORIE DES FORMES
ET LA GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE SUPÉRIEURE,
à l'usage des Étudiants des Facultés des Sciences,

Par **H. ANDOYER,**
Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Volume de vi-508 pages; 1900..... 15 fr.
TOME II..... (*En préparation.*)

RECUEIL DE PROBLÈMES
DE
GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE

A L'USAGE DES ÉLÈVES DE MATHÉMATIQUES SPÉCIALES
SOLUTIONS DES PROBLÈMES DONNÉS AU CONCOURS D'ADMISSION A L'ÉCOLE
POLYTECHNIQUE DE 1860 à 1900.

Par **F. MICHEL,**
Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Volume in-8 de vi-240 pages, avec 70 figures; 1900..... 6 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ
DE
MÉCANIQUE RATIONNELLE

Par P. APPELL,

Membre de l'Institut,
Professeur à la Faculté des Sciences.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- TOME I : *Statique, Dynamique du point*, avec 178 figures ; 1893. 16 fr.
TOME II : *Dynamique des systèmes. Mécanique analytique*, avec fig. ; 1896. 16 fr.
TOME III : *Équilibre et mouvement des milieux continus* (Un fascicule de 224 pages
à paru). Prix du volume complet pour les souscripteurs. 15 fr.

LEÇONS NOUVELLES
D'ANALYSE INFINITÉSIMALE
ET SES APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES.

Par Ch. MÉRAY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

Ouvrage honoré d'une souscription du Ministère de l'Instruction publique.

4 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- I^{re} PARTIE : Principes généraux ; 1894 13 fr.
II^e PARTIE : Étude monographique des principales fonctions d'une variable ;
1895 14 fr.
III^e PARTIE : Questions analytiques classiques ; 1897 6 fr.
IV^e PARTIE : Applications géométriques classiques ; 1898 7 fr.

TRAITÉ D'ASTRONOMIE STELLAIRE

Par CH. ANDRÉ,

Directeur de l'Observatoire de Lyon, Professeur d'Astronomie
à l'Université de Lyon.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- I^{re} PARTIE : Étoiles simples, avec 29 figures et 2 planches ; 1899. 9 fr.
II^e PARTIE : Étoiles doubles et multiples. Amas stellaires, avec 74 figures et 3 planches ;
1900. 14 fr.
III^e PARTIE : Photométrie, Photographie. Spectroscopie. (Sous presse.)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

BIBLIOTHÈQUE
PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la Science, de l'Art et des applications pratiques.

A côté d'Ouvrages d'une certaine étendue, comme le *Traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie photographique* de M. Fourtier, la *Photographie médicale* de M. Londe, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

MANUEL PRATIQUE DE PHOTOGRAPHIE AU CHARBON,

Par E. BELIN.

Un volume in-18 jésus, avec figures; 1900..... 2 fr.

**REPRODUCTION DES GRAVURES, DESSINS, PLANS,
MANUSCRITS,**

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec figures; 1900 2 fr.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THEORIQUE ET PRATIQUE,

Par A. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens... 32 fr.
Chaque volume se vend séparément..... 16 fr.

PRINCIPES ET PRATIQUE D'ART EN PHOTOGRAPHIE,

LE PAYSAGE,

Par Frédéric DILLAYE.

Un volume in-8 avec 32 figures et 3/4 photogravures de paysages; 1899. 5 fr.

**FORMULES, RECETTES ET TABLES POUR LA PHOTOGRAPHIE
ET LES PROCÉDÉS DE REPRODUCTION,**

Par le Dr J.-M. EDER.

Édition revue par l'auteur et traduite de l'allemand,

Par G. BRAUN fils.

Un volume in-18 jésus de 185 pages; 1900..... 4 fr.

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par C. FABRE, Docteur, ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.

Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1^{er} Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892 14 fr.

2^e Supplément (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. 14 fr.

Les 6 volumes se vendent ensemble..... 72 fr.

LA PHOTOTYPIC POUR TOUS

ET SES APPLICATIONS DIRECTES

AUX TIRAGES LITHOGRAPHIQUES ET TYPOGRAPHIQUES.

Par L. LAYNAUD.

Un volume in-18 jésus, avec figures; 1900..... 2 fr.

L'OBJECTIF PHOTOGRAPHIQUE,

ÉTUDE PRATIQUE. EXAMEN. ESSAI. CHOIX ET MODE D'EMPLOI.

Par P. MOËSSARD,

Lieutenant-Colonel du Génie,

Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Un volume grand in-8, avec 116 figures et 1 planche; 1899..... 6 fr. 50 c.

MANUEL DU PHOTOGRAPHE AMATEUR,

Par F. PANAJOU,

Chef du Service photographique à la Faculté de Médecine
de Bordeaux.

3^e ÉDITION COMPLÈTEMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

Petit in-8, avec 63 figures; 1899..... 2 fr. 75 c.

LA PHOTOGRAPHIE ANIMÉE,

Par E. TRUTAT.

Avec une Préface de M. MAREY.

Un volume grand in-8, avec 146 figures et 1 planche; 1899..... 5 fr.

ESTHÉTIQUE DE LA PHOTOGRAPHIE,

Un volume de grand luxe in-4 raisin, avec 14 planches et 150 figures. 16 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ PRATIQUE
DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES
A L'USAGE DES AMATEURS,

Par E. TRUTAT.

2^e édition, revue et augmentée. 2 vol. in-18 jésus..... 5 fr.

On vend séparément :

I^{re} PARTIE : *Obtention des petits clichés*, avec 81 figures; 1900.... 2 fr. 75 c.

II^e PARTIE : *Agrandissements*, avec 60 figures; 1897..... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE
DE PHOTOGRAVURE EN RELIEF ET EN CREUX,

Par Léon VIDAL.

In-18 jésus de xiv-445 p. avec 65 figures et 6 planches; 1900 6 fr. 50 c.

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.

CONFÉRENCES FAITES A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE
EN 1899.

Brochures in-8; 1899. — *On vend séparément :*

LA PHOTOCOLLOGRAPHIE, par G. BALAGNY..... 1 fr. 25 c.

LA PHOTOGRAPHIE STÉRÉOSCOPIQUE, par R. COLSON.. 1 fr.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE PORTRAIT EN PHOTOGRAPHIE, par Frédéric DILLAYE..... 1 fr. 25 c.

LA MÉTROPHOTOGRAPHIE, avec 17 figures et 2 planches, par le Colonel A. LAUSSE DAT..... 2 fr. 75 c.

LA RADIOGRAPHIE ET SES DIVERSES APPLICATIONS, avec 29 figures, par Albert LONDE..... 1 fr. 50 c.

LA CHRONOPHOTOGRAPHIE, avec 23 fig., par MAREY. 1 fr. 50 c.

LA PHOTOGRAPHIE EN BALLON ET LA TÉLÉPHOTOGRAPHIE, avec 19 figures, par H. MEYER-HEINE..... 1 fr. 50 c.

LA MICROPHOTOGRAPHIE, avec 3 planches en couleur, par MONPILLARD..... 2 fr. 50 c.

SUR LES PROGRÈS RÉCENTS ACCOMPLIS AVEC L'AIDE DE LA PHOTOGRAPHIE DANS L'ÉTUDE DU CIEL; avec 2 planches, par P. PUISEUX..... 2 fr.

LA PHOTOGRAPHIE DES MONTAGNES, à l'usage des alpinistes, avec 19 figures, par J. VALLOT..... 1 fr. 75 c.

LES PROGRÈS DE LA PHOTOGRAVURE, avec 21 figures et 2 planches, par Léon VIDAL..... 1 fr. 75 c.

LE RÔLE DES DIVERSES RADIATIONS EN PHOTOGRAPHIE, avec 8 figures, par P. VILLARD..... 1 fr.

LES AGRANDISSEMENTS, avec fig., par E. WALLON. 1 fr. 75 c.

29546. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

MASSON & C^{ie}, Éditeurs

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, Paris

P. n^o 216.

EXTRAIT DU CATALOGUE

(Décembre 1900)

La Pratique Dermatologique

Traité de Dermatologie appliquée

Publié sous la direction de MM.

ERNEST BESNIER, L. BROCCQ, L. JACQUET

Par MM. AUDRY, BALZER, BARBE, BAROZZI, BARTHÉLEMY, BENARD, ERNEST BESNIER, BODIN, BROCCQ, DE BRUN, DU CASTEL, J. DARIER, DEHU, DOMINICI, W. DUBREUILH, HUDELO, L. JACQUET, J.-B. LAFFITTE, LENGLET, LEREDDE, MERKLEN, PERRIN, RAYNAUD, RIST, SABOURAUD, MARCEL SÉE, GEORGES THIBERGE, VEYRIÈRES.

4 volumes richement cartonnés toile formant ensemble environ 3600 pages, très largement illustrés de figures en noir et de planches en couleurs. En souscription jusqu'à la publication du Tome II. 140 fr.

Les volumes paraîtront à des intervalles assez rapprochés pour que l'ouvrage soit complet à la fin de l'année 1901.

Chaque volume sera vendu séparément.

TOME PREMIER

1 fort vol. in-8^o avec 230 figures en noir et 24 planches en couleurs.

Richement cartonné toile. . . 36 fr.

Anatomie et Physiologie de la Peau. — Pathologie générale de la Peau. — Symptomatologie générale des Dermatoses. — Acanthosis Nigricans. — Acnés. — Actinomycose. — Adénomes. — Alopecies. — Anesthésie locale. — Balanites. — Bouton d'Orient. — Brûlures. — Charbon. — Classifications dermatologiques. — Dermatitis polymorphes douloureuses. — Dermatophytes. — Dermatozoaires. — Dermites infantiles simples. — Ecthyma.

Sous presse : Tome II contenant les articles : *Eczéma*, par ERNEST BESNIER. — *Electricité*, par BROCCQ. — *Electrolyse*, par BROCCQ. — *Eléphantiasis*, par DOMINICI. — *Eosinophilie*, par LEREDDE. — *Epithélioma*, par DARIER. — *Eruptions artificielles*, par THIBERGE. — *Erythème*, par BODIN. — *Erythrodermie*, par BROCCQ. — *Favus*, par BODIN. — *Folliculites*, par HUDELO. — *Furonculose*, par BAROZZI. — *Gale*, par DUBREUILH. — *Grefse*, par BAROZZI. — *Herpès*, par DU CASTEL. — *Ichtyose*, par THIBERGE. — *Impétigo*, par SABOURAUD. — *Kératodermie*, par DUBREUILH. — *Kératose pilaire*, par VEYRIÈRES. — *Langue*, par BÉNARD. — *Lèpre*, par MARCEL SÉE. — *Leucokératose*, par BÉNARD. — *Lichens*, par BROCCQ.

Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

Simon DUPLAY

Professeur à la Faculté de médecine
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu
Membre de l'Académie de médecine

Paul RECLUS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine
Chirurgien des hôpitaux
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

BERGER, BROCA, PIERRE DELBET, DELENS, DEMOULIN, J.-L. FAURE
FORGUE, GÉRARD MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER
KIRMISSON, LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT
PONCET, QUÉNU, RICARD, RIEFFEL, SEGOND, TUFFIER, WALTHER

Ouvrage complet

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE

8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte. 150 fr.

TOME I. — 1 vol. grand in-8° de 912 pages avec 218 figures 18 fr.

RECLUS. — Inflammations, traumatismes, maladies virulentes.
BROCA. — Peau et tissu cellulaire sous-cutané.

QUÉNU. — Des tumeurs.
LEJARS. — Lymphatiques, muscles, synoviales tondineuses et bourses sereuses.

TOME II. — 1 vol. grand in-8° de 996 pages avec 361 figures 18 fr.

LEJARS. — Nerfs.
MICHAUX. — Artères.

RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.
PONCET. — Affections non traumatiques des os.

TOME III. — 1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures 18 fr.

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.
QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.

LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.
GÉRARD MARCHANT. — Crâne.
KIRMISSON. — Rachis.
S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.

TOME IV. — 1 vol. grand in-8° de 896 pages avec 354 figures 18 fr.

DELENS. — L'œil et ses annexes.
GÉRARD MARCHANT. — Nez, fosses

nasales, pharynx nasal et sinus.
HEYDENREICH. — Mâchoires.

TOME V. — 1 vol. grand in-8° de 948 pages avec 187 figures 20 fr.

BROCA. — Face et cou. Lèvres, cavité buccale, gencives, palais, langue, larynx, corps thyroïde.
HARTMANN. — Plancher buccal, glandes

des salivaires, œsophage et pharynx.
WALTHER. — Maladies du cou.
PEYROT. — Poitrine.
PIERRE DELBET. — Mamelle.

TOME VI. — 1 vol. grand in-8° de 1127 pages avec 218 figures 20 fr.

MICHAUX. — Parois de l'abdomen.
BERGER. — Hernies.
JALAGUIER. — Contusions et plaies de l'abdomen, lésions traumatiques et corps étrangers de l'estomac et de l'intestin. Occlusion intestinale, péritonites, appendicite.

HARTMANN. — Estomac.
FAURE et RIEFFEL. — Rectum et anus.

TOME VII. 1 fort vol. gr. in-8° de 1272 pages, 297 fig. dans le texte 25 fr.

WALTHER. — Bassin.
FORGUE. — Urètre et prostate.
RECLUS. — Organes génitaux de l'homme.

HARTMANN et GOSSET. — Anus contre nature. Fistules stercorales.
QUÉNU. — Mésentère. Rate. Pancréas.
SEGOND. — Foie.
RIEFFEL. — Affections congénitales de la région sacro-coccygienne.
TUFFIER. — Rein. Vessie. Urètres. Capsules surrénales.

TOME VIII. 1 fort vol. gr. in-8° de 971 pages, 163 fig. dans le texte 20 fr.

MICHAUX. — Vulve et vagin.
PIERRE DELBET. — Maladies de l'utérus.
SEGOND. — Annexes de l'utérus,

ovaires, trompes, ligaments larges, péritoine pelvien.
KIRMISSON. — Maladies des membres.

Traité de Pathologie générale

Publié par **Ch. BOUCHARD**

Membre de l'Institut

Professeur de pathologie générale à la Faculté de Médecine de Paris.

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : **G.-H. ROGER**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris; Médecin des hôpitaux.

6 volumes grand in-8°, avec figures dans le texte.

Prix en souscription jusqu'à la publication du t. V. 442 fr.

TOME I

1 vol. grand in-8° de 1018 pages avec figures dans le texte : 48 fr.

Introduction à l'étude de la pathologie générale, par G.-H. ROGER. — Pathologie comparée de l'homme et des animaux, par G.-H. ROGER et P.-J. CADIOT. — Considérations générales sur les maladies des végétaux, par P. VUILLEMIN. — Pathologie générale de l'embryon. Tératogénie, par MATHIAS DUVAL. — L'hérédité et la pathologie générale, par LE GENDRE. — Prédilection et immunité, par BOURCY. — La fatigue et le surmenage, par MARFAZ. — Les Agents mécaniques, par LEJARS. — Les Agents physiques. Chaleur. Froid. Lumière. Pression atmosphérique. Son, par LE NOIR. — Les Agents physiques. L'énergie électrique et la matière vivante, par D'ARSONVAL. — Les Agents chimiques : les caustiques, par LE NOIR. — Les intoxications, par G.-H. ROGER.

TOME II

1 vol. grand in-8° de 940 pages avec figures dans le texte : 48 fr.

L'infection, par CHARRIN. — Notions générales de morphologie bactériologique, par GUIGNARD. — Notions de chimie bactériologique, par HUGOUNENQ. — Les microbes pathogènes, par ROUX. — Le sol, l'eau et l'air, agents des maladies infectieuses, par CHANTENESSE. — Des maladies épidémiques, par LAVERAN. — Sur les parasites des tumeurs épithéliales malignes, par RUFFER. — Les parasites, par R. BLANCHARD.

TOME III

1 vol. in-8° de plus de 1400 pages, avec figures dans le texte, publié en deux fascicules : 28 fr.

Fasc. I. — Notions générales sur la nutrition à l'état normal, par E. LAMBLING. — Les troubles préalables de la nutrition, par Ch. BOUCHARD. — Les réactions nerveuses, par Ch. BOUCHARD et G.-H. ROGER. — Les processus pathogéniques de deuxième ordre, par G.-H. ROGER.

Fasc. II. — Considérations préliminaires sur la physiologie et l'anatomie pathologiques, par G.-H. ROGER. — De la fièvre, par LOUIS GUINON. — L'hypothermie, par J.-F. GUYON. — Mécanisme physiologique des troubles vasculaires, par E. GLEY. — Les désordres de la circulation dans les maladies, par A. CHARRIN. — Thrombose et embolie, par A. MAYOR. — De l'inflammation, par J. COURMONT. — Anatomie pathologique générale des lésions inflammatoires, par M. LETULLE. — Les altérations anatomiques non inflammatoires, par P. LE NOIR. — Les tumeurs, par P. MENETRIER.

TOME IV

1 vol. in-8° de 719 pages avec figures dans le texte : 46 fr.

Evolution des maladies, par DUCAMP. — Sémiologie du sang, par A. GILBERT. — Spectroscopie du sang. Sémiologie, par A. HÉNOQUE. — Sémiologie du cœur et des vaisseaux, par R. TRIPPER. — Sémiologie du nez et du pharynx nasal, par M. LERMOYEZ et M. BOULAY. Sémiologie du larynx, par M. LERMOYEZ et M. BOULAY. — Sémiologie des voies respiratoires, par M. LEBRETON. — Sémiologie générale du tube digestif, par P. LE GENDRE.

Vient de paraître

TOME V

1 fort vol. in-8° de 1180 pages avec nombr. figures dans le texte : 28 fr.

Sémiologie du foie, par CHAUFFARD. — Pancréas, par X. ARNOZAN. — Analyse chimique des urines, par C. CHABRIÉ. — Analyse microscopique des urines (Histo-bactériologique), par NOEL HALLÉ. — Le rein, l'urine et l'organisme, par A. CHARRIN. — Sémiologie des organes génitaux, par PIERRE DELBET. — Sémiologie du système nerveux, par J. DEJERINE.

CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD

BABINSKI, BALLEZ, P. BLOCC, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD, L. GUINON, G. GUINON, HALLION, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, CÉTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAULT, SOUQUES, THIBIERGE, THOINOT, FERNAND WIDAL.

Traité de Médecine

DEUXIÈME ÉDITION

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

BOUCHARD

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Institut.

BRISSAUD

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

10 volumes grand in-8°, avec figures dans le texte.

En souscription. 150 fr.

TOME I^{er}

1 vol. gr. in-8° de 845 pages, avec figures dans le texte. 16 fr.

Les Bactéries, par L. GUIGNARD, membre de l'Institut et de l'Académie de médecine, professeur à l'École de Pharmacie de Paris. — **Pathologie générale infectieuse**, par A. CHARRIN, professeur remplaçant au Collège de France, directeur du laboratoire de médecine expérimentale, médecin des hôpitaux. — **Troubles et maladies de la Nutrition**, par PAUL LE GENDRE, médecin de l'hôpital Tenon. — **Maladies infectieuses communes à l'homme et aux animaux**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers.

TOME II

1 vol. grand in-8° de 894 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Fièvre typhoïde, par A. CHANTEMESSE, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies infectieuses**, par F. WIDAL, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Typhus exanthématique**, par L.-H. THOINOT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Fièvres éruptives**, par L. GUINON, médecin des hôpitaux de Paris. — **Erysipèle**, par E. BOIX, chef de laboratoire à la Faculté. — **Diphthérie**, par A. RUAULT. — **Rhumatisme**, par CÉTINGER, médecin des hôpitaux de Paris. — **Scorbut**, par TOLLEMER, ancien interne des hôpitaux.

TOME III

1 vol. grand in-8° de 702 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies cutanées, par G. THIBIERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié. — **Maladies vénériennes**, par G. THIBIERGE. — **Maladies du sang**, par A. GILBERT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Intoxications**, par A. RICHARDIÈRE, médecin des hôpitaux de Paris.

TOME IV

1 vol. grand in-8° de 680 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

Maladies de la bouche et du pharynx, par A. RUAULT. — **Maladies de l'estomac**, par A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral. — **Maladies du pancréas**, par A. MATHIEU. — **Maladies de l'intestin**, par COURTOIS-SUFFIT, médecin des hôpitaux. — **Maladies de la péritoine**, par COURTOIS-SUFFIT.

TOME VI

1 vol. grand in-8° de 612 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies du nez et du larynx, par A. RUAULT. — **Asthme**, par E. BRISSAUD, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Saint-

Antoine. — **Coqueluche**, par P. LE GENDRE, médecin des hôpitaux. — **Maladies des bronches**, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Troubles de la circulation pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies aiguës du poulmon**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux.

TOME VII

1 vol. grand in-8° de 550 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

Maladies chroniques du poulmon, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Phtisie pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies de la plèvre**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies du médiastin**, par A.-B. MARFAN.

Le tome V sera publié ultérieurement.

TRAITÉ DE PHYSIOLOGIE

PAR

J.-P. MORAT

Professeur à l'Université de Lyon.

Maurice DOYON

Professeur agrégé
à la Faculté de médecine de Lyon

5 vol. gr. in-8° avec figures en noir et en couleurs.

En souscription 50 fr.

- I. — **Fonctions de nutrition** : Circulation, par M. Doyon; Calorification, par P. MORAT. 1 vol. gr. in-8° avec 173 figures en noir et en couleurs. 12 fr.
- II. — **Fonctions de nutrition (suite et fin)** : Respiration, excrétion, par J.-P. MORAT; Digestion, Absorption, par M. Doyon. 1 vol. gr. in-8°, avec 167 figures en noir et en couleurs. 12 fr.

LES MÉDICAMENTS CHIMIQUES

Par **Léon PRUNIER**

Pharmacien en chef des Hôpitaux de Paris,
Professeur de pharmacie chimique à l'École de Pharmacie,
Membre de l'Académie de Médecine.

2 volumes grand in-8° avec figures dans le texte 30 fr.

Chaque volume est vendu séparément.

**Traité des
Maladies de l'Enfance**

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

J. GRANCHER

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,
Membre de l'Académie de médecine, médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

J. COMBY

Médecin
de l'hôpital des Enfants-Malades

A.-B. MARFAN

Agrégé,
Médecin des hôpitaux.

5 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. . 90 fr.

CHAQUE VOLUME EST VENDU SÉPARÉMENT

Traité d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

P. POIRIER

Professeur agrégé
à la Faculté de Médecine de Paris
Chirurgien des Hôpitaux.

A. CHARPY

Professeur d'anatomie
à la Faculté de Médecine
de Toulouse.

AVEC LA COLLABORATION DE

O. Amoëdo. — A. Branca. — B. Cunéo. — P. Fredet. — P. Jacques.
Th. Jonnesco. — E. Laguesse. — L. Manouvrier. — A. Nicolas.
M. Picou. — A. Prenant. — H. Rieffel. — Ch. Simon. — A. Soulié.

5 volumes grand in-8°. *En souscription* : 150 fr.
Chaque volume est illustré de nombreuses figures, la plupart tirées en
plusieurs couleurs d'après les dessins originaux de
MM. Ed. COYER et A. LEUBA.

ÉTAT DE LA PUBLICATION AU 1^{er} DÉCEMBRE 1900

TOME PREMIER

Embryologie; Ostéologie; Arthrologie. (*Deuxième édition revue et augmentée*). Un volume grand in-8° avec 807 figures en noir et en couleurs 20 fr.

TOME DEUXIÈME

- 1^{er} Fascicule : **Myologie.** (*Deuxième édition revue et augmentée*).
Un volume grand in-8° avec 331 figures 12 fr.
- 2^o Fascicule : **Angéiologie (Cœur et Artères).** Un volume grand
in-8° avec 145 figures en noir et en couleurs 8 fr.
- 3^o Fascicule : **Angéiologie (Capillaires, Veines).** Un volume grand
in-8° avec 75 figures en noir et en couleurs 6 fr.

TOME TROISIÈME

(Volume complet.)

- 1^{er} Fascicule : **Système nerveux (Méninges, Moelle, Encéphale).**
1 vol. grand in-8° avec 201 figures en noir et en couleurs . . 10 fr.
- 2^o Fascicule : **Système nerveux (Encéphale).** Un vol. grand in-8°
avec 206 figures en noir et en couleurs. 12 fr.
- 3^o Fascicule : **Système nerveux (Les Nerfs. Nerfs crâniens.
Nerfs rachidiens).** 1 vol. grand in-8° avec 203 figures en noir
et en couleurs 12 fr.

TOME QUATRIÈME

(Volume complet.)

- 1^{er} Fascicule : **Tube digestif.** (*Deuxième édition revue et aug-
mentée*). Un volume grand in-8°, avec 201 figures en noir
et en couleurs. 12 fr.
- 2^o Fascicule : **Appareil respiratoire; Larynx, trachée, poumons,
plèvres, thyroïde, thymus.** Un volume grand in-8°, avec
121 figures en noir et en couleurs. 6 fr.
- 3^o Fascicule : **Annexes du tube digestif; Dents, glandes salivaires,
foie, voies biliaires, pancréas, rate. Péritoine.** 1 vol. grand
in-8° avec 361 figures en noir et en couleurs 16 fr.

IL RESTE A PUBLIER :

Les Lymphatiques qui termineront le tome II. Les Organes génito-uri-
naires et les Organes des sens feront l'objet d'un tome V, afin d'éviter des
volumes d'un maniement difficile.

MANUEL DE PATHOLOGIE INTERNE

PAR

Georges DIEULAFOY

PROFESSEUR DE CLINIQUE MÉDICALE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS
MÉDECIN DE L'HOTEL-DIEU, MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

TREIZIÈME ÉDITION*entièrement refondue et considérablement augmentée*

4 volumes in-16 diamant, avec figures en noir et en couleurs,
. cartonnés à l'anglaise, tranches rouges. 28 fr.

Cette treizième édition, complètement refondue, porte à cinquante mille le nombre d'exemplaires tirés jusqu'à ce jour (édition française). Bien que cette nouvelle édition se soit accrue d'un millier de pages et d'une centaine de figures, nous avons tenu à en maintenir le prix à 28 francs.

L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICALDr **CRITZMAN**, directeur**Suite de Monographies cliniques**

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES

*en Médecine, en Chirurgie et en Biologie**Chaque monographie est vendue séparément. 1 fr. 25*

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix à forfait et payable d'avance de 10 francs pour la France et 12 francs pour l'étranger (port compris).

RÉCENTES MONOGRAPHIES PUBLIÉES

- N° 20. **La Peste** (*Epidémiologie. Bactériologie. Prophylaxie. Traitement*), par le Dr H. BOURGÈS, préparateur du laboratoire d'Hygiène à la Faculté de médecine de Paris.
- N° 21. **La Moelle osseuse à l'état normal et dans les infections**, par MM. H. ROGER, professeur agrégé de la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, et O. JOSUÉ, anc. inter. laur. des hôpitaux de Paris.
- N° 22. **L'Entéro-colite muco-membraneuse**, par le Dr GASTON LYON, ancien chef de clinique médicale de la Faculté de Paris.
- N° 23. **L'Exploration clinique des fonctions rénales par l'élimination provoquée**, par le Dr CH. ACHARD, professeur agrégé à la Faculté de médecine, médecin de l'hôpital Tenon.
- N° 24. **L'Analgésie chirurgicale par voie rachidienne** (*Injections sous-arachnoïdiennes de cocaïne*). Technique, résultats opératoires, par le Dr TUFFIER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, chirurgien des hôpitaux.

Manuel de Thérapeutique

Par Fernand BERLIOZ

Professeur à l'École de médecine de Grenoble, Directeur du Bureau d'Hygiène et de l'Institut sérothérapique,

Avec une Introduction de M. Ch. BOUCHARD

Professeur de pathologie et de thérapeutique générales,
Médecin des Hôpitaux.

QUATRIÈME ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE

1 vol. in-16 diamant, cartonné toile, tranches rouges 6 fr.

Leçons sur les Maladies nerveuses. *Deuxième série :*
Hôpital Saint-Antoine, par E. BRISSAUD, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital-Saint-Antoine, recueillies et publiées par Henry MEIGE. 1 volume grand in-8° avec 165 figures dans le texte 15 fr.

Précis d'anatomie pathologique, par L. BARD, professeur à la Faculté de médecine de l'Université de Lyon, médecin de l'Hôtel-Dieu. *Deuxième édition, revue et augmentée*, avec 125 figures dans le texte. 1 volume in-16 diamant, de XII-804 pages, cartonné toile, tranches rouges 7 fr. 50

Leçons sur les maladies du sang (*Clinique de l'Hôpital Saint-Antoine*), par Georges HAYEM, professeur à la Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine, recueillies par MM. E. PARMENTIER, médecin des hôpitaux, et R. BENSAUDE, chef du laboratoire d'anatomie pathologique à l'hôpital Saint-Antoine. 1 vol. in-8°, broché, avec 4 planches en couleurs, par M. KARMANSKI 15 fr.

Précis d'Histologie, par Mathias DUVAL, professeur à la Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine. *Deuxième édition, revue et augmentée*, illustrée de 427 figures dans le texte. 1 vol. gr. in-8° de 1020 pages 18 fr.

Consultations médicales sur quelques maladies fréquentes. *Quatrième édition, revue et considérablement augmentée*, suivie de quelques principes de Déontologie médicale et précédée de quelques règles pour l'examen des malades, par le Dr J. GRASSET, professeur de clinique médicale à l'Université de Montpellier, correspondant de l'Académie de médecine. 1 volume in-16, reliure souple, peau pleine. 4 fr. 50

Traité de Microbiologie, par E. DUCLAUX, membre de l'Institut de France, directeur de l'Institut Pasteur, professeur à la Sorbonne et à l'Institut national agronomique.

I. Microbiologie générale. — II. Diastases, toxines et venins. — III. Fermentation alcoolique.

Chaque volume grand in-8°, avec figures dans le texte . . . 15 fr.

Étude pratique sur le Mal de Pott, par le Dr V. MÉ-
NARD, chirurgien de l'Hôpital maritime de Berck-sur-Mer. 1 vol.
in-8°, avec 205 figures dans le texte. 12 fr.

**Traité de l'Uréthrostomie périnéale dans les ré-
trécissements incurables de l'urèthre.** — *Création
au périnée d'un méat contre nature, périnéostomie, méat périnéal*,
par MM. Antonin PONCET, professeur à l'Université de Lyon, ex-
chirurgien en chef de l'Hôtel-Dieu, membre correspondant de
l'Académie de médecine, et X. DELORE, ex-prosecteur, chef de
clinique chirurgicale à l'Université de Lyon, lauréat de l'Académie
de médecine. 1 vol. in-8° avec 11 fig. dans le texte, broché. 4 fr.

De l'Obésité (*Hygiène et Traitement*), par le Dr Adolphe JAVAL.
1 vol. in-8°. 3 fr.

**Traité des maladies chirurgicales d'origine
congénitale**, par le Dr E. KIRMISSON, professeur agrégé à
la Faculté de médecine, chirurgien de l'hôpital Trousseau, membre
de la Société de Chirurgie. 1 volume grand in-8° avec 311 figures
dans le texte et 2 planches en couleurs. 15 fr.

Manuel de Pathologie externe, par MM. RECLUS, KIR-
MISSON, PEYROT, BOUILLY, professeurs agrégés à la Faculté de
médecine de Paris, chirurgiens des hôpitaux. **Édition complète
illustrée de 720 figures.** 4 volumes in-8°. 40 fr.
Chaque volume est vendu séparément. 10 fr.

Cliniques chirurgicales de l'Hôtel-Dieu, par
Simon DUPLAY, professeur de clinique chirurgicale à la Faculté
de médecine, membre de l'Académie de médecine, chirurgien de
l'Hôtel-Dieu, recueillies et publiées par les Drs M. CAZIN, chef
de clinique chirurgicale à l'Hôtel-Dieu, et S. CLADO, chef des tra-
vaux gynécologiques. *Troisième série.* 1 vol. gr. in-8° avec fig. 8 fr.

Éléments de Chimie physiologique, par Maurice
ARTHUS, professeur de physiologie et de chimie physiologique à
l'Université de Fribourg. *Troisième édition revue et augmentée.* 1 vol.
in-16, avec fig. dans le texte, cartonné toile, tr. rouges . . 4 fr.

MANUEL D'ANATOMIE MICROSCOPIQUE et D'HISTOLOGIE

Par P.-E. LAUNOIS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Tenon.

PRÉFACE DE M. Mathias DUVAL

Professeur d'Histologie à la Faculté de Paris, membre de l'Académie de médecine

Deuxième édition entièrement refondue.

1 vol. in-16 diamant, cart. toile avec 261 figures dans le texte. 8 fr.

Bibliothèque

d'Hygiène thérapeutique

DIRIGÉE PAR

Le Professeur PROUST

Membre de l'Académie de médecine, Médecin de l'Hôtel-Dieu,
Inspecteur général des Services sanitaires.

Chaque ouvrage forme un volume in-16, cartonné toile, tranches rouges,
et est vendu séparément : 4 fr.

Chacun des volumes de cette collection n'est consacré qu'à une seule maladie ou à un seul groupe de maladies. Grâce à leur format, ils sont d'un maniement commode. D'un autre côté, en accordant un volume spécial à chacun des grands sujets d'hygiène thérapeutique, il a été facile de donner à leur développement toute l'étendue nécessaire.

L'hygiène thérapeutique s'appuie directement sur la pathogénie; elle doit en être la conclusion logique et naturelle. La genèse des maladies sera donc étudiée tout d'abord. On se préoccupera moins d'être absolument complet que d'être clair. On ne cherchera pas à tracer un historique savant, à faire preuve de brillante érudition, à encombrer le texte de citations bibliographiques. On s'efforcera de n'exposer que les données importantes de pathogénie et d'hygiène thérapeutique et à les mettre en lumière.

VOLUMES PARUS

L'Hygiène du Goutteux, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.

L'Hygiène de l'Obèse, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.

L'Hygiène des Asthmatiques, par E. BRISSAUD, professeur agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

L'Hygiène du Syphilitique, par H. BOURGES, préparateur au laboratoire d'hygiène de la Faculté de médecine.

Hygiène et thérapeutique thermale, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.

Les Cures thermale, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.

L'Hygiène du Neurasthénique, par le professeur PROUST et G. BALLET, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. (Deuxième édition.)

L'Hygiène des Albuminuriques, par le D^r SPRINGER, ancien interne des hôpitaux de Paris, chef de laboratoire de la Faculté de médecine à la Clinique médicale de l'hôpital de la Charité.

L'Hygiène du Tuberculeux, par le D^r CHUQUET, ancien interne des hôpitaux de Paris, avec une introduction du D^r DAREMBERG, membre correspondant de l'Académie de médecine.

Hygiène et thérapeutique des maladies de la Bouche, par le D^r CRUET, dentiste des hôpitaux de Paris, avec une préface de M. le professeur LANGELOUGE, membre de l'Institut.

Hygiène des maladies du Cœur, par le D^r VAQUEZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, avec une préface du professeur POTAIN.

Hygiène du Diabétique, par A. PROUST et A. MATHIEU.

L'Hygiène du Dyspeptique, par le D^r LINOSSIER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Lyon, membre correspondant de l'Académie de médecine, médecin à Vichy.

VOLUMES EN PRÉPARATION

Hygiène thérapeutique des maladies de la Peau, par le D^r THIBIERGE.

CHARLES GERHARDT

SA VIE, SON ŒUVRE, SA CORRESPONDANCE
(1816-1856)

DOCUMENT D'HISTOIRE DE LA CHIMIE

PAR MM.

Édouard GRIMAUD ET Charles GERHARDT
De l'Institut. Ingénieur.

Un volume in-8° de xi-595 pages avec portrait. . . 15 fr.

ESSAIS

DE

PHILOSOPHIE ET D'HISTOIRE DE LA BIOLOGIE

Par E. GLEY

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris,
Assistant près de la Chaire de Physiologie générale
au Muséum d'Histoire naturelle.

Un volume in-18 jésus 3 fr. 50

Le Constructeur, principes, formules, tracés, tables et renseignements pour l'établissement des *projets de machines* à l'usage des ingénieurs, constructeurs, architectes, mécaniciens, etc., par **F. Reuleaux**. *Troisième édition française*, par **A. Debize**, ingénieur des manufactures de l'Etat. 1 volume in-8° avec 184 figures. 30 fr.

Traité d'analyse chimique qualitative, par **R. Frésenius**. Traité des opérations chimiques, des réactifs et de leur action sur les corps les plus répandus, essais au chalumeau, analyse des eaux potables, des eaux minérales, du sol, des engrais, etc. Recherches chimico-légales, analyse spectrale. *Neuvième édition française* d'après la 16^e édition allemande, par **L. Gautier**. 1 vol. in-8° avec grav. et un tableau chromolithographique 7 fr.

Traité d'analyse chimique quantitative, par **R. Frésenius**. Traité du dosage et de la séparation des corps simples et composés les plus usités en pharmacie, dans les arts et en agriculture, analyse par les liqueurs titrées, analyse des eaux minérales, des cendres végétales, des sols, des engrais, des minerais métalliques, des fontes, dosage des sucres, alcalimétrie, chlorométrie, etc. *Septième édition française*, traduite sur la 6^e édition allemande, par **L. Gautier**. 1 vol. in-8° avec 251 grav. dans le texte . . 16 fr.

Traité d'Analyse chimique QUANTITATIVE PAR ÉLECTROLYSE

Par **J. RIBAN**

Professeur chargé du cours d'analyse chimique
et maître de conférences à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.

1 vol. grand in-8°, avec 96 figures dans le texte. 9 fr.

Manuel pratique de l'Analyse des Alcools ET DES SPIRITUEUX

PAR

Charles GIRARD

Directeur du Laboratoire municipal
de la Ville de Paris.

Lucien CUNIASSE

Chimiste-expert
de la Ville de Paris.

1 volume in-8° avec figures et tableaux dans le texte. Relié toile. 7 fr.

STATION DE CHIMIE VÉGÉTALE DE MEUDON
(1883-1899)

Chimie végétale et agricole

PAR

M. BERTHELOT

Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences,
Professeur au Collège de France.

4 volumes in-8° avec figures dans le texte 36 fr.

Précis de Chimie analytique

Analyse qualitative, Analyse quantitative par liqueurs titrées, Analyse des gaz, Analyse organique élémentaire, Analyses et Dosages relatifs à la Chimie agricole, Analyse des vins, Essais des principaux minerais.

Par **J.-A. MULLER**

Docteur ès sciences, Professeur à l'École supérieure des sciences d'Alger.

1 volume in-12, broché 3 fr.

LES TRAVAUX DE *l'Exposition de 1900*

Rar **A. DA CUNHA**

Ingénieur des Arts et Manufactures.

Préface de **HENRI DE PARVILLE**

1 vol. in-8°, avec 189 figures dans le texte, broché 4 fr.

L'ouvrage de M. Da Cunha nous fait assister, depuis le début, à la création de cette œuvre admirable et nous la fait voir sous un aspect nouveau. Un des côtés les plus intéressants, et peut-être les moins connus de cette grande manifestation, a été en effet celui qui se rapporte à la période de travail et d'élaboration.

Cette Exposition marque une date dans l'histoire industrielle du monde, elle est une ère à laquelle on se reportera comme elle a été un but pour bien des efforts. Il faut se souvenir. Et l'on trouvera un charme singulier à lire les pages écrites par un passionné du progrès, qui a vu jour par jour s'élever et grandir l'œuvre immense, du soubassement au faité.

PETITE BIBLIOTHÈQUE DE " LA NATURE "

Recettes et Procédés utiles, recueillis par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. Neuvième édition.

Recettes et Procédés utiles. Deuxième série : La Science pratique, par Gaston TISSANDIER. Cinquième édition, avec figures dans le texte.

Nouvelles Recettes utiles et Appareils pratiques. Troisième série, par Gaston TISSANDIER. Quatrième édition, avec 91 figures dans le texte.

Recettes et Procédés utiles. Quatrième série, par Gaston TISSANDIER. Deuxième édition, avec 38 figures dans le texte.

Recettes et Procédés utiles. Cinquième série, par J. LAFFARGUE, secrétaire de la rédaction de *la Nature*. Avec figures dans le texte.

Chacun de ces volumes in-18 est vendu séparément

Broché 2 fr. 25 | Cartonné toile 3 fr.

La Physique sans appareils et la Chimie sans laboratoire, par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. Septième édition des *Récréations scientifiques. Ouvrage couronné par l'Académie (Prix Montyon)*. Un volume in-8° avec nombreuses figures dans le texte. Broché, 3 fr. Cartonné toile, 4 fr.

OUVRAGES DE M. A. DE LAPPARENT

Membre de l'Institut, professeur à l'École libre des Hautes-Études.

TRAITÉ DE GÉOLOGIE

QUATRIÈME ÉDITION

entièrement refondue et considérablement augmentée.

3 vol. grand in-8°, d'environ 1.850 pages, avec nombreuses figures, cartes et croquis. 35 fr.

Abrégé de géologie. *Quatrième édition, entièrement refondue.* 1 vol. in-16 de viii-299 pages avec 141 gravures et une carte géologique de la France en chromolithographie, cartonné toile 3 fr.

Notions générales sur l'écorce terrestre. 1 vol. in-16 de 156 pages avec 33 figures, broché. 1 fr. 20

La géologie en chemin de fer. Description géologique du Bassin parisien et des régions adjacentes (Bretagne aux Vosges. — Belgique à Auvergne). 1 vol. in-18 de 608 pages, avec 3 cartes chromolithographiées, cartonné toile. 7 fr. 50

Cours de minéralogie. *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de xx-703 pages avec 619 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée. 15 fr.

Précis de minéralogie. *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. in-16 de xii-398 pages avec 235 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée, cartonné toile. 5 fr.

Leçons de géographie physique. *Deuxième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de xvi-718 pages avec 162 figures dans le texte et une planche en couleurs. 12 fr.

COLLECTION BOULE

Le Cantal. *Guide du touriste, du naturaliste et de l'archéologue,* par Marcellin BOULE, docteur ès sciences, Louis FARGES, archiviste-paléographe. 1 volume in-16 avec 85 dessins et photographies, et 2 cartes en couleurs, relié toile anglaise 4 fr. 50

La Lozère. *Guide du touriste, du naturaliste et de l'archéologue,* par Ernest CORD, ingénieur-agronome, Gustave CORD, docteur en droit, avec la collaboration de M. Armand VIRÉ, docteur ès sciences. 1 vol. in-16 avec de nombreux dessins et photographies et cartes en couleurs. 4 fr. 50

Traité de Zoologie

Par **Edmond PERRIER**

Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine,
Directeur du Muséum d'Histoire Naturelle.

FASCICULE I : Zoologie générale. 1 vol. gr. in-8° de 412 p. avec 458 figures dans le texte.	12 fr.
FASCICULE II : Protozoaires et Phytozoaires. 1 vol. gr. in-8° de 452 p., avec 243 figures.	10 fr.
FASCICULE III : Arthropodes. 1 vol. gr. in-8° de 480 pages, avec 278 figures.	8 fr.
Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol. in-8° de 1344 pages, avec 980 figures.	30 fr.
FASCICULE IV : Vers et Mollusques. 1 vol. gr. in-8° de 792 pages, avec 566 figures dans le texte.	16 fr.
FASCICULE V : Amphioxus, Tuniciers. 1 vol. gr. in-8° de 221 pages, avec 97 figures dans le texte.	6 fr.
FASCICULE VI : Vertébrés. (<i>Sous presse</i>).	/

Cours préparatoire au Certificat d'Études Physiques,
Chimiques et Naturelles (P. C. N.)

COURS ÉLÉMENTAIRE DE ZOOLOGIE

Par **Rémy PERRIER**

Maître de conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris,
Chargé du Cours de Zoologie

Pour le certificat d'études physiques, chimiques et naturelles.

1 vol. in-8° avec 693 figures. Relié toile : 10 fr.

Traité de Manipulations de Physique

Par **B.-C. DAMIEN**

Professeur de Physique à la Faculté des sciences de Lille.

et **R. PAILLOT**

Agrégé, chef des travaux pratiques de Physique à la Faculté des sciences de Lille.

1 volume in-8° avec 246 figures dans le texte. 7 fr.

Éléments de Chimie Organique et de Chimie Biologique

Par **W. ŒCHSNER DE CONINCK**

Professeur à la Faculté des sciences de Montpellier, Membre de la Société de Biologie, Lauréat de l'Académie de médecine et de l'Académie des sciences.

1 volume in-16. 2 fr.

ÉLÉMENTS DE CHIMIE DES MÉTAUX

A L'USAGE DU COURS PRÉPARATOIRE AU CERTIFICAT D'ÉTUDES P.C.N.

Par le Professeur **W. ŒCHSNER DE CONINCK**

Membre de la Société de Biologie, lauréat de l'Académie de Médecine
et de l'Académie des Sciences.

1 volume in-16. 2 fr.

LA GÉOGRAPHIE

BULLETIN

DE LA

Société de Géographie

PUBLIÉ TOUS LES MOIS PAR

LE BARON HULOT, Secrétaire général de la Société

ET

M. CHARLES RABOT, Secrétaire de la Rédaction

ABONNEMENT ANNUEL : PARIS : 24 fr. — DÉPARTEMENTS : 26 fr.
ÉTRANGER : 28 fr. — Prix du numéro : 2 fr, 50

Chaque numéro, du format grand in-8°, composé de 80 pages et accompagné de cartes et de gravures nombreuses, comprend des mémoires, une chronique, une bibliographie et le compte rendu des séances de la Société de Géographie. La nouvelle publication n'est pas seulement un recueil de récits de voyages pittoresques, mais d'observations et de renseignements scientifiques.

La chronique rédigée par des spécialistes pour chaque partie du monde fait connaître, dans le plus bref délai, toutes les nouvelles reçues des voyageurs en mission par la Société de Géographie, et présente un résumé des renseignements fournis par les publications étrangères : elle constitue, en un mot, un résumé du *mouvement géographique* pour chaque mois.

La Nature

REVUE ILLUSTRÉE

des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie

DIRECTEUR : **Henri de PARVILLE**

Abonnement annuel : Paris : 20 fr. — Départements : 25 fr. —
Union postal : 26 fr.

Abonnement de six mois : Paris : 10 fr. — Départements : 12 fr. 50.
— Union postale : 13 fr.

Fondée en 1873 par GASTON TISSANDIER, la *Nature* est aujourd'hui le plus important des journaux de vulgarisation scientifique par le nombre de ses abonnés, par la valeur de sa rédaction et par la sûreté de ses informations. Elle doit ce succès à la façon dont elle présente la science à ses lecteurs en lui ôtant son côté aride tout en lui laissant son côté exact, à ce qu'elle intéresse les savants et les érudits aussi bien que les jeunes gens et les personnes peu familiarisés avec les ouvrages techniques; à ce qu'elle ne laisse, enfin, rien échapper de ce qui se fait ou se dit de neuf dans le domaine des découvertes qui trouvent chaque jour des applications nouvelles aux conditions de notre vie qu'elles modifient sans cesse.

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 20185.