

AGENDA DUNOD

1931

MÉTALLURGIE

RUE BONAPARTE 92-PARIS

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

# Pour apprendre LA CHIMIE

adressez-vous à l'INSTITUT DE CHIMIE INDUSTRIELLE  
DE L'ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL

PLACÉE SOUS LE HAUT PATRONAGE DE L'ÉTAT

Directeur : J. GALOPIN \*, U. I., Ingénieur

152, Avenue de Wagram, PARIS. Tél.: Wagram 27-97



Fondé il y a 25 ans par des INDUSTRIELS  
Dirigé par des INGÉNIEURS-SPECIALISTES  
Cet Institut met 300 COURS à votre disposition  
Rédigés par 200 PROFESSEURS

Cours oraux de jour et de soir, 500 ÉLÈVES

Cours par Correspondance, 8.000 ÉLÈVES

Enseignement pratique, Élémentaire, Moyen et Supérieur

Facilité d'accès aux diplômes suivants :

*Préparateurs - Chefs de Laboratoire*  
*Sous-Ingénieurs - Ingénieurs pratiques*  
*Diplômes supérieurs d'Ingénieurs*  
*Certificats de Licence*

COURS SPÉCIAUX DE MÉTALLURGIE  
DE CHIMIE AGRICOLE, PARFUMERIE, ETC.

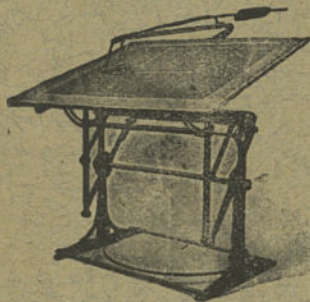
Jeunes techniciens, perfectionnez-vous  
vous gagnerez davantage, et votre patron également

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1  
Envoi du programme, n° 807..... gratuit.



# LE BUREAU DE DESSIN MODERNE

F. DARNAY (Ing<sup>r</sup> A. et M.), 7, Rue Coppel  
TÉL. : GOB. 46.56 PARIS (XIII<sup>e</sup>) METRO : ITALIE



TABLES A DESSIN

Normographe

Appareil à Dessiner

*Toutes les  
Fournitures  
de Dessin*

Catalogues AD  
sur demande



Chaîne Galle

PARIS, 84, rue Oberkampf

CHAINES GALLE et  
VAUCANSON

en  
tous genres



**A NE MON GALLE**

Société Anonyme au Capital de 2.250.000 francs

Chaîne  
Vaucanson.

**R. BENOIT**

Administrat<sup>r</sup> délégué

ROUES POUR CHAINES  
IRIS - LILLIAD - Université Lille 1  
Catalogue franco sur demande





# Soudures Spéciales

## à basse Température et à l'Autoène

Marques :  
 "LAFFITTE"  
 "DELMAS"  
 "LIGOT"  
 "LACHEZE"



### PLAQUE & POUDRE à SOUDER

Soudure à basse température  
pour fers et aciers.

### TREMPE & CÉMENT

à feu ouvert et à vase clos.  
Trempe du fer.  
Durcissement de l'acier.  
Cémentation à vase clos.

### "ALUFOR"

Baguette inaltérable  
pour le Brasage de l'Aluminium.

### "CUIVROGÈNE"

Baguette à braser  
plus fusible que le laiton  
2 titres : N° 1 grise, N° 2 jaune.

### "SILIZOL"

Enduit protecteur  
contre la cémentation.

### "LAFFITTIUM"

Flux et Baguette pour la soudure  
autogène de l'aluminium.

### POUDRE à BRASER

Supérieure au Borax.  
Évite toute boursouffure.

### "BANKALINE"

Soudure d'étain en pâte inoxydable  
Supprime l'esprit de sel,  
la Résine et l'Ammoniaque.

### "ZÉCA"

Soudure à basse température  
pour Aluminium et Alliages,  
4 titres : N° 1, 2, 3, 4

### BRASURE EN BAGUETTE

Produit complet.  
S'emploie sans fondant.  
2 titres : jaune et grise.

### "RUBANKA"

Soudure complète d'étain en ruban.

### STANIX

Soudure complète d'étain en baguette

### "BRONZOGÈNE"

Métal d'apport inoxydable  
pour la soudure autogène  
du bronze d'aluminium,  
Laiton, fonte et acier.

### BRASURE COMPLÈTE

Produit complet  
en tablettes comprimées.  
N° 1 grise, N° 2 jaune, N° 3 au fer.

### AUTOFLUX

Décapant en Pâte.  
Spécial pour soudure à l'étain.

### "FONTOLINE"

Poudre à braser la fonte.  
S'emploie avec le Superflux  
et la soudure de cuivre

### PLAQUE à BRASER

Spéciale pour scies à ruban.

### "SUPERFLUX"

Décapant pour tous Métaux.  
Spécial pour soudure autogène.

### "UNIFONTE"

Pâte à braser la fonte.

**SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUDRES à SOUDER**

SOCIÉTÉ ANONYME - CAPITAL 3.000.000 DE FRANCS

102, AVENUE PARMENTIER - PARIS

SUPÉRIORITÉ INCONTESTABLE  
◇ ◇ DURÉE ILLIMITÉE ◇ ◇

Parquet Hygienique  
SANS JOINT  
**Terrazzolith**

SUPÉRIORITÉ GARANTIE  
*Ne Gandonle ni ne se fend jamais.*  
*Belles Couleurs Inalterables.*  
*Durée Illimitée.*

DEMANDEZ PROSPECTUS  
TELEPHONE NORD 47-31  
125-53

**TERRAZZOLITH**  
"DÉPOSÉ"

LE TERRAZZOLITH. S<sup>ie</sup> Ame ANC. ET S<sup>ie</sup> DOUCE & MOULIN  
64, RUE PETIT



COMPLÈTEMENT  
INCOMBUSTIBLE.

Le Parquet par excellence pour :

BUREAUX, MAGASINS, ATELIERS, VOITURES à VOYAGEURS  
ÉCOLES, HOPITAUX, ÉGLISES, SALLES de SPECTACLES

Procédés brevetés S. G. D. G.

Se méfier des substitutions.

**LES TRAVAUX SONT ENTIÈREMENT GARANTIS**

◇ ◇ RESISTANCE A TOUTE EPREUVE ◇ ◇  
◇ ◇ ECONOMIE CERTAINE ◇ ◇

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1



**SOCIÉTÉ ANONYME**  
**DES**  
**ATELIERS DETOMBAY**

à Marcinelle-Chârleroi (Belgique)

Étude et Construction de Hauts Fourneaux  
**ACIÉRIES, LAMINOIRS et FOURS à COKE**  
 et de tous  
**APPAREILS et MACHINES**  
 se rapportant à la métallurgie

*Les impuretés dans les métaux*

MÉTHODES D'ÉTUDES DE LA STRUCTURE DES MÉTAUX. — L'étude de la structure interne des métaux a contribué plus que toute autre cause à intensifier les progrès de la métallurgie pendant ces cinquante dernières années. Les métaux et leurs alliages ont été préparés et utilisés pendant des siècles avant que la question de leur structure ait été soulevée, mais leur fabrication était alors un art et non une science. Même aujourd'hui la science n'a pas entièrement remplacé l'art dans l'industrie métallurgique, mais les progrès de la métallographie la font avancer à grands pas dans ce sens. La métallographie est la science qui s'occupe de la structure des métaux et de ses rapports avec leurs propriétés, et quoique le microscope soit souvent son instrument exclusif, elle englobe effectivement toutes les méthodes physiques dont on peut se servir pour arriver au résultat cherché. L'examen microscopique est de la première importance, sinon absolument indispensable, mais une interprétation rigoureuse exige généralement un supplément de preuves. Ces preuves peuvent être obtenues par l'analyse thermique, ou par des mesures du pouvoir thermo-électrique, du potentiel électrique, de la densité des propriétés magnétiques ou de la résistance électrique. Dans ces derniers temps, les recherches sur la structure, ont été considérablement facilitées par l'emploi des rayons X qui sont devenus maintenant un instrument d'une importance incontestable en métallographie. Quoique la technique de la plupart de ces méthodes est maintenant familière à tous, nous passerons brièvement en revue leurs applications particulières.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

(Voir la suite page 4.)



# DURALUMIN

**Tubes, Barres, Profilés, Planches, Bandes**  
**Pièces fondues, forgées et matricées**

Densité : 2,8  
 Charge de rupture : 40 kil.  
 Allongement : 20 0/0

**Aluminium - Alliages - Maillechort**



## Société du Duralumin

Société Anonyme au capital de 20.000.000 frs

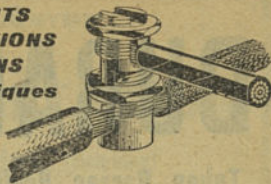
Siège : 23<sup>bis</sup>, Rue de Balzac  
 Paris  
 Dépôt : 75, Rue Turbigo

Téléphone ( Carnot 54-72 à 54-77.  
 LILLIAD - Université Lille 1 96.

**Tous les BRANCHEMENTS**  
**Toutes les DÉRIVATIONS**  
**Toutes les JONCTIONS**  
**des Fils et Câbles électriques**  
**se font avec le**

**« Connecteur Fauris »**

Brev. S. G. D. G. France et Étranger



**ET SES DÉRIVÉS**  
 sans épissures ni soudures, conformément aux règlements en vigueur, en assurant des contacts parfaits, un serrage énergique et le maximum de sécurité.

Demander Notice illustrée, Tarif et Listes de références à

**CH. FAURIS, Ing<sup>r</sup>-Const<sup>r</sup>, 91, rue d'Inkermann, LYON**

**EXAMEN MICROSCOPIQUE.** — Le fait que les métaux ont une structure cristalline est maintenant connu de tous, mais ce qu'il est intéressant de noter c'est que cette notion est récente. La première observation de la nature cristalline des métaux paraît avoir été faite par Robert Hooke qui a décrit en 1665 la formation des cristaux de plomb au cours de la solidification d'un alliage d'argent et de plomb. Beaucoup d'observations de même nature ont été relatées de temps en temps, mais il a fallu arriver en 1864 au moment où Sorby a publié son premier mémoire sur la structure des métaux pour que les bases de la métallographie aient été posées. Sorby a montré qu'en polissant la surface d'un métal comme on avait l'habitude de polir la section d'une pierre et en attaquant cette surface par un réactif approprié, on faisait apparaître une microstructure définie. Quoique de nombreux détails de la technique aient été perfectionnés, la méthode originale de Sorby est celle qui sert aujourd'hui d'une manière pratiquement générale.

Cependant près de vingt ans se sont écoulés avant que les travaux de Sorby aient été appréciés à leur juste valeur et ce n'est qu'après 1880 avec la publication des travaux sur le même sujet de Martens, Osmond et d'autres savants du continent, qu'un progrès réel a été fait. Les premiers travaux ont été principalement consacrés au fer et à l'acier dont la structure est beaucoup plus complexe que celle de la plupart des autres alliages, mais ils se sont bientôt étendus aux métaux non ferreux. Aujourd'hui le microscope est employé non seulement dans toutes les recherches métallurgiques, mais encore dans la plupart des fonderies et usines métallurgiques au contrôle permanent du métal. C'est le moyen le plus avantageux que l'on possède pour étudier la structure des métaux, mais il ne peut être qu'aidé mais non remplacé par les méthodes plus récentes. Les procédés techniques appliqués à la préparation et à l'examen microscopique des métaux ont été décrits d'une manière complète dans les nombreux traités consacrés à ce sujet et avec lesquels nous supposons le lecteur déjà familiarisé. Les défauts tels que les soufflures, les criques, les inclusions non métalliques sont relevés par l'examen de la surface polie du métal et la présence de plusieurs phases peut être découverte par des différences de coloration ou dans le pouvoir réflecteur. L'attaque par un réactif approprié met en évidence les cristaux et met en évidence les plus petits détails de la structure; par un choix convenable

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

(Voir la suite page 6.)

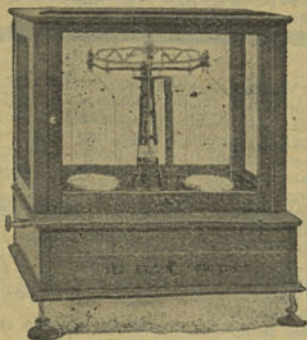
# Société des Usines Chimiques Rhône - Poulenc

Siège Social: 21, Rue Jean-Goujon - PARIS (8<sup>e</sup>)

PRODUITS CHIMIQUES PURS  
POUR ANALYSES

PRODUITS CHIMIQUES  
INDUSTRIELS

Ateliers de Construction d'Appareils de Précision :  
63, Boulevard Richard-Lenoir (12, Rue Pelée)



Balances à chaîne sensibles aux  $1/10^e$ ,  $1/5^e$ ,  $1/2$  milligramme

Verre français marque " LABO "

VERRERIE SOUFFLÉE ET GRADUÉE

PYROMÈTRES, THERMOMÈTRES INDUSTRIELS

Grisomètre Le Chatelier

OBUS CALORIMÉTRIQUE DE MALHER  
POUR L'ESSAI DES COMBUSTIBLES

Régulateur automatique de température  
POULENC-CHAGNAUD

Catalogues - LILLIAD - Université Lille 1 - sur demande

Index commercial, page A 72.



**SOCIÉTÉ ANONYME LA BRUGEOISE et NICAISE et DELCUVE**  
**Aciéries, Forges et Ateliers de Construction**  
 Siège Social, à SAINT-MICHEL-LEZ-BRUGES  
 Usines à SAINT-MICHEL et LA LOUVIERE

Adr. Tél. { Brugeoise-Bruges (Belgique). } Téléph. { Bruges n° 12 et 13  
 { Delnic-La Louvière (Belgique) } { La Louvière n° 34

**Matériel roulant :** Tenders, wagons et voitures à voyageurs ;  
 Châssis pour wagons-foudres et wagons-réservoirs.

**Matériel fixe :** Changements de voie, signaux, plaques tournantes, ponts à peser, grues fixes et roulantes.

**Aciéries Bessemer et Siemens Martin :** Aciers moulés ;  
 Pièces forgées et étirées.

**Laminoirs à bandages et fabrication d'essieux.**

**Ateliers de construction** et Trains de roues montés. **Fabrique de ressorts.**

**Ponts, charpentes, châssis à molettes, gazomètres, réservoirs Fonderies de fer. — Boulonnerie.**

des réactifs on peut distinguer et identifier les différentes phases. L'examen macrographique soit à l'œil nu, soit sous un faible grossissement, donne également des renseignements importants sur la répartition générale des constituants. Les procédés tels que l'attaque au soufre et l'emploi des teintures qui se localisent dans les pores et les fissures infiniment petites du métal fournissent également des renseignements d'une grande valeur pour découvrir les défauts des métaux. Tous ces moyens permettent d'obtenir des renseignements sur les caractéristiques suivantes d'un métal ou d'un alliage :

a) Grandeur et forme des grains cristallins et forme de leurs contours ;  
 b) Nombre de phases existantes, leur répartition et leurs proportions volumétriques approximatives ;

c) Uniformité de composition dans tout l'échantillon que l'on désigne généralement par homogénéité ;

d) Répartition des inclusions, soufflures, cavités et autres défauts physiques des métaux ;

e) Existence des particularités cristallographiques, telles que cristaux géminés, bandes de Neumann, etc. ;

f) Orientation des cristaux individuels, ne s'applique qu'aux structures simples et exige des méthodes spéciales d'attaque et d'éclairage.

Outre ces observations sur la structure réelle de l'échantillon, il est généralement possible d'en tirer des conclusions sur les traitements qu'il a subis antérieurement, tels que les déformations mécaniques ou les traitements thermiques. Ce bref résumé indique le nombre considérable de renseignements que l'on peut recueillir en utilisant convenablement le microscope ; mais il ne faut pas oublier que l'emploi du microscope est tout de même limité, en particulier dans l'étude des constituants secondaires. On peut souvent découvrir la présence d'une seconde phase lorsque la concentration est extrêmement faible. Par exemple le bismuth qui est insoluble dans le cuivre apparaît sous forme de bande discontinue dans les contours des grains, lorsque sa teneur n'est que de 1/10.000. Cependant il n'est pas nécessaire qu'un second élément, même en quantité considérable, change l'aspect d'un métal, et souvent de simples solutions solides ne peuvent être découvertes par le microscope. En se servant de l'éclairage dans la région visible du spectre, un grossissement supérieur



7

SOCIÉTÉ DES ÉTABLISSEMENTS

# DALBOUZE & BRACHET

= Société Anonyme au Capital de 3.000.000 de Francs =  
11, Rue Francis-de-Pressensé (ex-roe du Château), Puteaux (Seine).

## PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINÉRAIS

::

Lavoirs à charbon — Concasseurs à mâchoires  
Broyeurs à cylindres — Moulins à boulets  
Cribles à pistons — Hydroclasseurs  
Tables oscillantes, etc.  
Séparateur électromagnétique

USINE d'ESSAI à la disposition de nos clients

## SOCIÉTÉ FRANÇAISE SCHAEFFER & BUDENBERG

*A responsabilité limitée, au capital de 100.000 francs*

126, Boulevard Richard-Lenoir -:- PARIS (XI<sup>e</sup>)

### Principales Fabrications :

MANOMÈTRES - THERMOMÈTRES - PYROMÈTRES  
TACHYMÈTRES · DYNAMOMÈTRES · COMPTEURS DE TOURS  
INDICATEURS DYNAMOMÉTRIQUES  
RÉGULATEURS DE VITESSE - DÉTENDEURS  
PURGEURS AUTOMATIQUES - INJECTEURS  
POMPES A VAPEUR · POMPES D'ÉPREUVE

*Robinetterie pour vapeur surchauffée  
et pressions jusqu'à 100 kg/cm<sup>2</sup>*

Index commercial, page A 72.

LABORATOIRE MÉTALLURGIQUE

**L. CAMPREDON**

FONDÉ EN 1897

R. CAMPREDON, *Directeur*

**ÉCHANTILLONNAGES - ANALYSES**

à SAINT-NAZAIRE-sur-LOIRE (*Loire-Inférieure*)  
et à PARIS (IX<sup>e</sup>), 5, rue Drouot Téléph. Provence 86-38

à 5.000 n'augmente pas actuellement le pouvoir de discrimination du microscope.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES. — Parmi les méthodes physiques susceptibles de fournir des renseignements sur la structure des métaux, l'analyse thermique est la plus importante. Elle a été employée au début par Heycock et Neville, Tammann et d'autres en 1889, à l'étude des alliages et constitue une application aux systèmes métalliques de la loi de Raoult sur l'abaissement du point de solidification des solutions.

L'analyse thermique a une importance particulière dans l'étude des alliages et sera exposée avec plus de détails à ce propos dans le chapitre IV. Dans le cas des métaux purs, elle constitue la méthode la plus précise pour la détermination du point de fusion et indique l'existence de toute variation dans l'état cristallin entre le point de fusion et la température ordinaire. Si l'on place un bain de métal fondu dans une enceinte et qu'on le laisse refroidir par rayonnement, sa température est une fonction exponentielle du temps, pourvu qu'il ne reçoive pas de chaleur de l'extérieur<sup>(1)</sup>.

(<sup>1</sup>) *Les impuretés dans les métaux*, par COLIN-J. SMITHELLS, Dunod éditeur, Paris.

### *La fabrication de la fonte malléable*

FONTES. — La fonte est un carbure de fer contenant de 2 à 5 0/0 de carbone. Elle est obtenue dans un appareil spécial qui porte le nom de haut fourneau ou à l'aide d'appareils secondaires (1) que nous ne décrivons pas. La fabrication de la fonte au haut fourneau repose sur le principe suivant : on fait agir sur le minerai de fer qui est supposé être un oxyde de fer (2) ( $Fe^2O^4$  ou  $Fe^2O^3$ ) un corps plus avide d'oxygène que le fer. L'oxyde est décomposé et le fer devient libre. L'agent de décomposition, ou dit de « réduction » employé est l'oxyde de carbone qui provient de la combustion du coke. Dans les changements qu'éprouve le minerai dans le haut fourneau, il passe à l'état de fer pur, puis, environné de carbone, il s'en sature dans une proportion définie, forme un alliage liquide et descend à la partie inférieure. Cet alliage produit la fonte. Ces deux

(Voir la suite page 10.)



# THERMOMÈTRES INDUSTRIELS

APPAREILS DE LABORATOIRES  
VERRERIE INDUSTRIELLE

*ETABLISSEMENTS FORAY*

ET VERRERIE DE ST FON'S

*8, 10, Rue Anatole France*

**ST FON'S** (Rhône).

*Demandez le catalogue illustré*

## MARCEL SEBIN & C<sup>le</sup>

79, RUE D'ANGOULÊME, 79. PARIS-XI<sup>e</sup>

**LA**

# CHAINE

DANS TOUTES SES

# APPLICATIONS

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1



# A LONGWY

# LES RÉFRACTAIRES

SONT A LA HAUTEUR DE

# LA MÉTALLURGIE

manières d'être du fer ne diffèrent du fer lui-même que par la quantité plus ou moins grande de carbone, qu'il tient en dissolution.

Or le mode de combinaison du carbone avec le fer et les proportions des matières étrangères influent sur les diverses qualités de la fonte, en déterminent la nuance, la dureté, la contexture, etc.

En principe, dans les fontes ordinaires, on n'a cherché à y introduire en forte proportion aucun élément étranger. Elles contiennent le plus souvent, en plus du carbone, du silicium, du manganèse, du soufre et du phosphore. Mais on sait aussi maintenant qu'elles contiennent souvent, en minimes proportions, tous les éléments dont se composait le lit de fusion qui les a produites. Le nombre de ces éléments est parfois considérable. La présence d'un grand nombre d'éléments étrangers rend l'analyse complète des fontes l'une des opérations les plus complexes de la chimie minérale. Et pourtant, dans certains cas, il semblerait qu'on ne dût pas en négliger la recherche sous prétexte qu'elle ne saurait exercer aucune influence sur la qualité de la fonte malléable.

La présence de certains éléments rares semblerait même confirmer les théories récentes, admises par certains fondeurs, selon lesquelles les éléments rares contenus dans la fonte peuvent contrarier la graphitisation de la fonte blanche.

Quoi qu'il en soit, nous croyons devoir mentionner ci-dessous une analyse de fonte miroitante, faite dans une importante usine métallurgique et qui suffit pour montrer combien certaines fontes sont des composés peu simples :

Carbone .....	4,323	Magnésium .....	0,045
Silicium .....	0,997	Titane .....	0,006
Azote .....	0,014	Aluminium .....	0,077
Soufre .....	0,014	Cuivre .....	0,066
Phosphore .....	0,059	Cobalt .....	traces
Arsenic .....	0,007	Nickel .....	0,016
Antimoine .....	0,004	Manganèse .....	10,707
Sodium, lithium .....	traces	Fer .....	82,860
Potassium .....	0,063	Laitiers interposés .....	0,651
Calcium .....	0,091		( <sup>1</sup> )

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

(<sup>1</sup>) *La fabrication de la fonte malléable*, par Camille BUSQUET, Dunod, éditeur, Paris.



**COFFRETS - POTS - CREUSETS**  
 EN  
**NICHROMIC**

Alliage breveté S. G. D. G.

*Pour Recuissons, Cémentation, Bains de Sels, etc...*

Le NICHROMIC ne se déforme pas et ne s'oxyde pas.

Il dure vingt fois plus que l'acier.

Économise le combustible.

**NICHROMIC, 41, Rue des Bas, ASNIÈRES (Seine)**

**DICTIONNAIRES TECHNIQUES ILLUSTRÉS**

**EN SIX LANGUES**

(Français, Allemand, Anglais, Russe, Italien, Espagnol)

Par **A. SCHLOMANN**

*Prix susceptibles de variations correspondant à celles des prix pratiqués par l'éditeur allemand, et compte tenu du change.*

- I. Éléments de machines. — Outils usuels, 43 fr. — II. Électrotechnique et électrochimie, 2<sup>e</sup> édition, 488 fr. — III. Chaudières. Machines. Turbines à vapeur, 147 fr. — IV. Moteurs à combustion interne, 63 fr. — V. Chemins de fer (Construction. Exploitation), 93 fr. — VI. Chemins de fer (Matériel roulant), 87 fr. — VII. Appareils de levage, 70 fr. — VIII. Béton armé, 46 fr. — IX. Machines-outils, 80 fr. — X. Automobiles, Canots automobiles, Dirigeables, Aéroplanes, 117 fr. — XI. Sidérurgie, 107 fr. — XII. Hydraulique, Pneumatique, Froid, 234 fr. — XIII. Construction, 134 fr. — XIV. Matières textiles, 122 fr. — XV. Filature et filés, 207 fr. — XVI. Tissage et tissus, 207 fr.

Ces volumes ne peuvent être fournis par la librairie Dunod qu'en France et colonies françaises, Belgique et Congo belge, Italie et Suisse romande, exception faite par IRIS de LILLIAD de Université Lille 1<sup>er</sup> pays.

# SOCIÉTÉ ALSACIENNE de Constructions Mécaniques

Société Anonyme au Capital de 114.750.000 Francs

Usines à :

MULHOUSE (Haut-Rhin) GRAFFENSTADEN (Bas-Rhin) CLICHY (Seine) OBLERIE à CLICHY  
Maison à PARIS : 32, Rue de Lisbonne 8<sup>e</sup>

Agences à :

BORDEAUX, 15, c. Georges-Clemenceau.

CLERMONT-FERRAND, 32, r. St-Genès.

DIJON, 3, pl. Émile-Zola.

ÉPINAL | 24, r. de la Gare (text.).

| 12, r. de la Préfecture.

LILLE | 16, r. Faïdherbe (text.).

| 61, r. de Tournai.

LYON, 13, r. Grôlée.

MARSEILLE, 148, r. Paradis.

NANCY, 4, r. de la Croix de Bourgogne.

NANTES, 1, r. Camille-Berruyer.

REIMS, 2, r. de Mars.

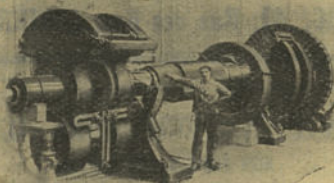
ROUEN, 7, r. Fontenelle.

STRASBOURG, 36, r. du St-Gothard.

TOULOUSE, 21, r. Lafayette.

TOURS, 17 bis, r. Bancheureau.

SAISON FERMÉE



Arbre moteur destiné à un gros moteur à gaz sur le tour

## Matériel Mécanique pour les Mines et la Métallurgie

Chaudières, Machines à Vapeur, Moteurs à Gaz et Installations d'Épuration de Gaz. Turbo-Compresseurs, Machines et Turbo-Soufflantes. Turbines hydrauliques.

*Fils et Câbles isolés et armés pour toutes applications  
Câbles armés spéciaux pour puits de mines*

Locomotives à vapeur, Machines-Outils, Machines pour l'Industrie Textile, Cris et Vérins U.G. 1, Bascules, Transmissions, Machines et Appareils pour l'Industrie Chimique.

DUNOD

INDAS

45

Handwritten signature or initials

# MÉTALLURGIE

1931

# AGENDAS DUNOD

---

**Assurances**, par Pierre VÉRON et F. POURCHEIROUX.

**Automobile**, par G. LIENHARD.

**Banque**, par H. DUFAYEL.

**Bâtiment**, par E. AUCAMUS, revu par Ph. ROUSSEAU.

**Béton armé**, par V. FORESTIER.

**Chemins de fer**, par P. PLACE.

**Chimie**, par E. JAVET.

**Commerce**, par E. RACHINEL.

**Construction Mécanique**, par J. IZART.

**Électricité**, par L.-D. FOURCAULT.

**Métallurgie**, par A. ROUX.

**Mines.** — *Prospection et exploitation.* — *Préparation mécanique*, par J. ROUX-BRAHIC.

**Physique Industrielle**, par J. IZART.

**Travaux publics**, par E. AUCAMUS, revu par Ph. ROUSSEAU.

**Vente et publicité**, par E. RACHINEL et M. BUISSON.

---

*Prix de chaque volume relié pégamoïd : 20 fr.*

---



# MÉTALLURGIE

PAR

**A. ROUX**

Ingenieur des Arts et Manufactures  
Chef de travaux à l'École Centrale.

À L'USAGE DES

Ingenieurs, Maîtres de forges,  
Directeurs et contremaîtres d'usines métallurgiques  
de fonderies de métaux, etc.

47<sup>e</sup> édition

1931

---

PARIS



IRIS UNIVERSITÄT LIÉGE 1

MÉTALLURGIE

AGENDAS DUNOD

1931

A. ROUX

Les **Agendas Dunod** offrent, dans leurs pages d'annonces, le moyen de diffusion le plus puissant des procédés, machines ou fournitures utilisés par l'industrie à laquelle chacun d'eux s'adresse spécialement.

Tout industriel et commerçant disposant d'un budget de propagande, ou prévoyant une campagne d'annonces doit s'adresser au **Service de publicité des Agendas Dunod**.

1931

PARIS



Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays.

## JANVIER



Les jours croissent de  
1 heure 1 minutes

## FÉVRIER



Les jours croissent de  
1 heure 39 minutes

## MARS



Les jours croissent de  
1 heure 48 minutes

P. L. le 4, à 13h. 15 m.  
D. Q. le 11, à 5h. 9 m.  
N. L. le 18, à 18h. 36 m.  
P. Q. le 27, à 0h. 6 m.

P. L. le 3, à 0h. 26 m.  
D. Q. le 9, à 16h. 10 m.  
V. L. le 17, à 13h. 11 m.  
P. Q. le 5, à 16h. 42 m.

P. L. le 4, à 10h. 36 m.  
D. Q. le 11, à 5h. 15 m.  
N. L. le 19, à 7h. 51 m.  
P. Q. le 27, à 5h. 4 m.

1	J	<i>Circoncision</i>
2	V	S. Basile
3	S	S <sup>e</sup> Geneviève
4	D	S. Rigobert
5	L	S <sup>e</sup> Amélie
6	M	<i>Epiphanie</i>
7	M	S <sup>e</sup> Mélanie
8	J	S. Lucien
9	V	S. Marcellin
10	S	S. Paul erm.
11	D	S <sup>e</sup> Hortense
12	L	S. Arcade
13	M	<i>Bapt. de N.-S.</i>
14	M	S. Hilaire
15	J	S. Maur
16	V	S. Marcel
17	S	S. Antoine
18	D	S <sup>e</sup> Prisca
19	L	S. Sulpice
20	M	S. Sébastien
21	M	S <sup>e</sup> Agnès
22	J	S. Vincent
23	V	S. Raymond
24	S	S. Babylas
25	D	Conv. s. Paul
26	L	S <sup>e</sup> Paule
27	M	S. Julien
28	M	S. Charlem.
29	J	S. Fr. de S.
30	V	S <sup>e</sup> Bathilde
31	S	S <sup>e</sup> Marcelle

1	D	<i>Septuagésime</i>
2	L	<i>Purification</i>
3	M	S. Blaise
4	M	S. Gilbert
5	J	S <sup>e</sup> Agathe
6	V	S <sup>e</sup> Dorothee
7	S	S. Fidèle
8	D	<i>Sexagésime</i>
9	L	S <sup>e</sup> Apollonte
10	M	S <sup>e</sup> Scholastiq
11	M	S. Adolphe
12	J	S <sup>e</sup> Eulalie
13	V	S. Enogat
14	S	S. Valentin
15	D	<i>Quinquages.</i>
16	L	S <sup>e</sup> Julienne
17	M	<i>Mardi-Gras</i>
18	M	<i>Cendres</i>
19	J	S. Gabin
20	V	S. Sylv.
21	S	S. Pépin
22	D	<i>Quaragés.</i>
23	L	S. Gérard
24	M	S. Mathias
25	M	S. Léandre <sup>q.I.</sup>
26	J	S. Nestor
27	V	S <sup>e</sup> Honorine
28	S	S. Romain

1	D	<i>Reminiscere</i>
2	L	S. Jacob
3	M	S. Marin
4	M	S. Casimir
5	J	S. Adrien
6	V	S <sup>e</sup> Colette
7	S	S. Thomas A.
8	D	<i>Oculi</i>
9	L	S <sup>e</sup> Françoise
10	M	S. Doctrové
11	M	S. Euloge
12	J	<i>Mi-Carême</i>
13	V	S <sup>e</sup> Euphrasie
14	S	S <sup>e</sup> Mathilde
15	D	<i>Lélaire</i>
16	L	S. Cypriaque
17	M	S. Patrice
18	M	S. Gabriel
19	J	S. Joseph
20	V	S. Joachim
21	S	S <sup>e</sup> Clémence
22	D	<i>Passion</i>
23	L	S. Victorien
24	M	S. Timothée
25	M	<i>Annonciation</i>
26	J	S. Emmanuel
27	V	S <sup>e</sup> Lydie
28	S	S. Gontran
29	D	<i>Rameaux</i>
30	L	S. Amédée
31	M	S <sup>e</sup> Cornélie



## AVRIL



Les jours croissent de  
1 heure 46 minutes

P. L. le 2, à 20 h. 6 m.  
D. Q. le 9, à 20 h. 15 m.  
N. L. le 18, à 1 h. 0 m.  
P. Q. le 25, à 13 h. 40 m.

1	M	S. Hugues
2	J	S. François P.
3	V	<i>Vend.-Saint</i>
4	S	S <sup>e</sup> Adèle
5	D	Pâques
6	L	FÉRIÉ
7	M	S. Clotaire
8	M	S. Albert
9	J	S <sup>e</sup> Marie Eg.
10	V	S. Fulbert
11	S	S. Léon
12	D	<i>Q. maximodo</i>
13	L	S <sup>e</sup> Ida
14	M	S. Tiburce
15	M	S <sup>e</sup> Anastasie
16	J	S <sup>e</sup> Odette
17	V	S. Anicej
18	S	S. Parfait
19	D	S. Socrate
20	L	S. Théodore
21	M	S. Anselme
22	M	S <sup>e</sup> Léonide
23	J	S. Georges
24	V	S. Gaston
25	S	S. Marc
26	D	S. Clet
27	L	S. Frédéric
28	M	S. Aimé
29	M	S. Robert
30	J	S. Ludovic

## MAI



Les jours croissent de  
1 heure 17 minutes

P. L. le 2, à 5 h. 14 m.  
D. Q. le 9, à 12 h. 48 m.  
N. L. le 17, à 15 h. 28 m.  
P. Q. le 24, à 19 h. 39 m.  
P. L. le 31, à 14 h. 33 m.

1	V	SS. J. et P.
2	S	S. Athanase
3	D	<i>Inv. s<sup>e</sup> Croix</i>
4	L	S <sup>e</sup> J'élagie
5	M	S. Pie V
6	M	S. Jean P.-L.
7	J	S. Stanislas
8	V	S <sup>e</sup> Félicie
9	S	S. Grégoire N.
10	D	<i>Fête J. d'Acc</i>
11	L	<i>Rogations</i>
12	M	S. Achille
13	M	S. Servais
14	J	Ascension
15	V	S <sup>e</sup> Denise
16	S	S. Honoré
17	D	S. Pascal
18	L	S <sup>e</sup> Juliette
19	M	S. Yves
20	M	S. Bernardin
21	J	S <sup>e</sup> Gisèle
22	V	S. Emile
23	S	S. Didier
24	D	Pentecôte
25	L	FÉRIÉ
26	M	S. Philippe N.
27	M	S. Ildev. Q.-I.
28	J	S. Olivier
29	V	S. Maximin
30	S	S. Ferdinand
31	D	Trinité

## JUIN



Les jours croissent de  
16 minutes

D. Q. le 8, à 6 h. 48 m.  
N. L. le 6, à 3 h. 2 m.  
P. Q. le 23, à 0 h. 23 m.  
P. L. le 30, à 0 h. 47 m.

1	L	S. Fortuné
2	M	S <sup>e</sup> Emilie
3	M	S <sup>e</sup> Clotilde
4	J	<i>Fête-Dieu</i>
5	V	S <sup>e</sup> Yvonne
6	S	S. Claude
7	D	S. Lié
8	L	S. Médard
9	M	S. Félicien
10	M	S. Edgard
11	J	S. Barnabé
12	V	S. Guy
13	S	S. Ant. de P.
14	D	S. Rufin
15	L	S. Modeste
16	M	S. Cyr
17	M	S. Avit
18	J	S. Florentin
19	V	S. Gervais
20	S	S. Silvere
21	D	S. Méen
22	L	S. Alban
23	M	S. Félix
24	M	<i>N. de s. J.-B.</i>
25	J	S. Prosper
26	V	S. David
27	S	S. Crescent
28	D	S. Irénée
29	L	SS. Pier. et P.
30	M	S <sup>e</sup> Emilienne

## JUILLET



Les jours diminuent de  
55 minutes

## AOUT



Les jours diminuent de  
1 heure 35 minutes

## SEPTEMBRE



Les jours diminuent de  
1 heure 39 minutes

*D. Q.* le 7, à 23h. 52 m.  
*N. L.* le 15, à 12h. 20 m.  
*P. Q.* le 22, à 5h. 16 m.  
*P. L.* le 29, à 12h. 48 m.

*D. Q.* le 6, à 16h. 28 m.  
*N. L.* le 13, à 20h. 27 m.  
*P. Q.* le 20, à 11h. 36 m.  
*P. L.* le 28, à 3h. 10 m.

*D. Q.* le 5, à 7h. 21 m.  
*N. L.* le 12, à 4h. 26 m.  
*P. Q.* le 18, à 20h. 37 m.  
*P. L.* le 26, à 19h. 45 m.

1	M	S. Martial
2	J	<i>Visitat. N.-D.</i>
3	V	S. Anatole
4	S	S <sup>e</sup> Berthe
5	D	S <sup>e</sup> Zoé
6	L	S <sup>e</sup> Colombe
7	M	S. Elie
8	M	S <sup>e</sup> Virginie
9	J	S. Cyrille
10	V	S <sup>e</sup> Félicité
11	S	S. Norbert
12	D	S. Gualbert
13	L	S. Eugène
14	M	<i>Fête Nation.</i>
15	M	S. Henri
16	J	S. Hélier
17	V	S. Alexis
18	S	S. Camille
19	D	S. V. de Paul
20	L	S <sup>e</sup> Marguer.
21	M	S. Victor
22	M	S <sup>e</sup> Marie-M.
23	J	S <sup>e</sup> Valentine
24	V	S. Christine
25	S	S. Christophe
26	D	S <sup>e</sup> Anne
27	L	S. Nathalie
28	M	S. Samson
29	M	S <sup>e</sup> Marthe
30	J	S. Abdon
31	V	S. Germain

1	S	S. Pierre ès L.
2	D	S. Alphonse
3	L	S. Geoffroy
4	M	S. Dominiq.
5	M	S. Abel
6	J	<i>Transf. J.-C.</i>
7	V	S. Gaëtan
8	S	S. Justin
9	D	S. Amour
10	L	S. Laurent
11	M	S <sup>e</sup> Suzanne
12	M	S <sup>e</sup> Claire
13	J	S. Hippolyte
14	V	S. Eusèbe
15	S	<i>Assomption</i>
16	D	S. Roch
17	L	S. Septime
18	M	S <sup>e</sup> Hélène
19	M	S. Flavien
20	J	S. Bernard
21	V	S <sup>e</sup> Jeanne
22	S	S. Symphor.
23	D	S. Sidonie
24	L	S. Barthel.
25	M	S. Louis, roi
26	M	S. Privat
27	J	S. Césaire
28	V	S. Augustin
29	S	S. Médéric
30	D	S. Fiacre
31	L	S. Aristide

1	M	S. Leu
2	M	S. Lazare
3	J	S. Grégoire
4	V	S <sup>e</sup> Rosalie
5	S	S. Bertin
6	D	S. Onésip.
7	L	S <sup>e</sup> Reine
8	M	<i>Nat. de N.-D.</i>
9	M	S. Omer
10	J	S <sup>e</sup> Pulchérie
11	V	S. Hyacinthe
12	S	S. Séraphin
13	D	S. Maurille
14	L	<i>Exalt. de Cr.</i>
15	M	S. Nicomède
16	M	S <sup>e</sup> Edith Q.-T.
17	J	S. Lambert
18	V	S <sup>e</sup> Sophie
19	S	S. Gustave
20	D	S. Eustache
21	L	S. Matthieu
22	M	S. Maurice
23	M	S. Lin
24	J	S. Andoche
25	V	S. Firmin
26	S	S <sup>e</sup> Justino
27	D	S. Côme
28	L	S. Wenceslas
29	M	S. Michel
30	M	S. Jérôme

## OCTOBRE



Les jours diminuent de  
1 heure 44 minutes

*D. Q.* le 4, à 20 h. 15 m.  
*N. L.* le 11, à 13 h. 6 m.  
*P. Q.* le 18, à 9 h. 20 m.  
*P. L.* le 16, à 13 h. 34 m.

1	J	S. Rémi
2	V	SS, Angès
3	S	S° Fauste
4	D	S. Franç. d'A.
5	L	S. Constant
6	M	S. Arthur
7	M	S. Serge
8	J	S° Brigitte
9	V	S. Denis
10	S	S. Paulin
11	D	S. Quirin
12	L	S. Wilfrid
13	M	S. Édouard
14	M	S. Calixte
15	J	S° Thérèse
16	V	S. Léopold
17	S	S° Edwige
18	D	S. Luc, év.
19	L	S° Laure
20	M	S. Aurélien
21	M	S° Céline
22	J	S. Modéran
23	V	S. Hilarion
24	S	S. Raphaël
25	D	S. Crépin
26	L	S. Evariste
27	M	S° Antoinette
28	M	S. Alfred
29	J	S. Rodolphe
30	V	S. Arsène
31	S	S. Narcisse

## NOVEMBRE



Les jours diminuent de  
1 heure 20 minutes

*D. Q.* le 3, à 7 h. 18 m.  
*N. L.* le 9, à 22 h. 35 m.  
*P. Q.* le 17, à 2 h. 13 m.  
*P. L.* le 25, à 7 h. 10 m.

1	D	Toussaint
2	L	Morts
3	M	S. Hubert
4	M	S. Charles
5	J	S. Théotime
6	V	S. Léonard
7	S	S. Ernest
8	D	S. Godfroy
9	L	S. Mathurin
10	M	S. Juste
11	M	Fête Victoire
12	J	S. René
13	V	S. Stanisl. K.
14	S	S° Philomène
15	D	S° Eugénie
16	L	S. Edme
17	M	S. Agnan
18	M	S. Eudes
19	J	S° Elisabeth
20	V	S. Edmond
21	S	Prés. de N.-D.
22	D	S° Cécile
23	L	S. Clément
24	M	S° Flora
25	M	S° Catherine
26	J	S° Delphine
27	V	S. Séverin
28	S	S. Sosthène
29	D	Avent
30	L	S. André

## DÉCEMBRE



Les jours diminuent de  
18 minutes

*D. Q.* le 2, à 16 h. 51 m.  
*N. L.* le 9, à 22 h. 55 m.  
*P. Q.* le 17, à 2 h. 13 m.  
*P. L.* le 25, à 7 h. 10 m.

1	M	S. Eloi
2	M	S° Aurélie
3	J	S. Franç. X.
4	V	S° Barbe
5	S	S. Sabas
6	D	S. Nicolas
7	L	S. Ambroise
8	M	Imm. Conc.
9	M	S° Léocadie
10	J	S° Valérie
11	V	S. Daniel
12	S	S° Constance
13	D	S° Lucie
14	L	S. Nicaise
15	M	S. Mesmin
16	M	S° Adèle. Q.-I.
17	J	S° Olympe
18	V	S. Gatien
19	S	S. Timoléon
20	D	S. Philogone
21	L	S. Thomas
22	M	S. Honorat
23	M	S° Victoire
24	J	S. Irmine
25	V	Noël
26	S	S. Étienne
27	D	S. Jean, ap.
28	L	SS. Innocents
29	M	S° Éléonore
30	M	S. Roger
31	J	S. Sylvestre



## INTRODUCTION A L'ÉDITION DE 1930

Dans l'édition de 1930, nous avons revu le chapitre des essais mécaniques. Pour l'étude des fontes on remplace l'essai de traction par des essais de cisaillement, de flexion, de dureté, nous indiquons les formules qui relient les résultats fournis par ces essais et les valeurs des charges de rupture à la traction et à la compression.

L'essai Brinell de dureté dont l'emploi industriel a pris une si grande importance n'est pas suffisamment sensible pour la mesure des très grandes duretés; nous mentionnons les méthodes assez récentes de Rockwell, d'Herbert qui commencent à être utilisées et paraissent intéressantes pour les cas de duretés élevées.

Nous avons aussi ajouté dans cette édition un barème des nombres de dureté Brinell en fonction du diamètre d'empreinte de la bille dans l'essai de dureté normal.

L'essai Brinell est utilisé très souvent en usine pour classer rapidement les métaux par catégories de même espèce dans les lots d'approvisionnements; ce procédé peut conduire à des erreurs parce que à une même dureté ne correspond pas nécessairement une même composition chimique; l'essai de thermoélectricité, préconisé par Galibourg, permet dans certains cas, — nous en signalons quelques-uns, — de compléter les renseignements fournis par l'essai de dureté et de lever l'indétermination qui pourrait subsister après le seul essai de dureté.

Nous avons introduit un chapitre nouveau qui traite des diagrammes d'équilibre des alliages métalliques, de la métallographie et de la macrographie.

Nous rappelons, dans ce chapitre, les règles qui permettent

de lire les diagrammes d'équilibre dont l'utilisation est à la base de toute étude et de tout emploi industriel des alliages.

Nous donnons les diagrammes des alliages les plus usités.

En ce qui concerne la métallographie, après avoir rapidement indiqué le procédé utilisé pour le polissage des échantillons, nous donnons la composition des principaux réactifs employés pour l'attaque et la nature des constituants mis en évidence.

Pour la macrographie, nous donnons aussi la composition des principaux réactifs d'attaque.

Nous avons continué la mise à jour amorcée dans les éditions précédentes en étudiant dans le chapitre des métaux autres que le fer, les principaux alliages industriels de ces métaux; nous indiquons leur composition, leurs propriétés mécaniques, leurs utilisations industrielles.

Les différentes statistiques ont été remises à jour; pour celles qui traitent de la sidérurgie, nous avons utilisé les renseignements mis à notre disposition par le Comité des Forges de France.

## PRÉFACE

### TABLE DES MATIÈRES

Dans l'édition 1931, nous avons ajouté au chapitre des essais mécaniques un paragraphe traitant les propriétés mécaniques à chaud des métaux.

Nous indiquons les résultats obtenus pour la limite de viscosité qui doivent être connus pour l'utilisation à chaud des métaux puisque cette limite correspond aux efforts maxima qu'ils peuvent supporter sans se déformer aux températures indiquées.

Nous avons, en outre, revu le chapitre des traitements thermiques : trempe, recuit, revenu, et ajouté un tableau donnant la classification et les principaux emplois des aciers ordinaires.



PREFACE

Dans l'édition 1931, nous avons ajouté au chapitre des  
essais mécaniques un paragraphe traitant des propriétés mé-  
caniques à l'état des métaux.  
Nous indiquons les résultats obtenus pour la limite de résis-  
tance qui doivent être connus pour l'utilisation à chaud des  
métaux pour une limite correspond aux efforts maximaux  
qu'ils peuvent supporter sans se déformer aux températures  
indiquées.  
Nous avons en outre, vers le chapitre des traitements  
thermiques, temps, recuit, revenu, et ajouté un tableau  
donnant la classification et les principaux emplois des aciers  
ordinaires.

## TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Introduction à l'édition de 1930.....	1

### Métallurgie.

#### I. — Agents métallurgiques.

<b>Combustibles. — Pouvoir calorifique.....</b>	<b>2</b>
Bois.....	2
Poids du stère de bois.....	3
Composition des combustibles naturels.....	4 et 5
Charbon de bois. — Tourbe.....	6
Lignite.....	7
Houille et coke. — Teneur en cendres.....	8
Composition chimique des cendres de houille.....	9
Fusibilité des cendres.....	9
Combustion spontanée des charbons.....	10
Composition des gaz des hauts fourneaux.....	11
Combustibles liquides.....	12
Combustibles artificiels. — Préparation.....	13
Carbonisation des bois.....	13
Carbonisation et lavage de la houille.....	13
Fabrication du coke métallurgique.....	14 et 15
Frais de fabrication du coke métallurgique.....	16 et 17
Fours pour distillation en vase clos.....	18
Agglomération des houilles.....	20
Préparation mécanique de la houille.....	20
Production de coke et Fours en activité.....	21 à 22
Emploi des combustibles.....	25

Agent oxydant.....	25
De la combustion.....	25
Combustion des gaz.....	25
Gazogènes.....	26
Chauffage sur grille. Fumivorité. — Densité du combustible.....	27
Emploi du bois comme combustible industriel.....	28
Emploi des combustibles liquides.....	28
Chauffage au charbon pulvérisé.....	29
<b>Matériaux d'addition</b> .....	31
Agents réducteurs.....	31
Fondants.....	31
Calcul d'un laitier ou d'une scorie.....	32
<b>Matériaux réfractaires</b> .....	37
Briques d'argile réfractaires.....	37
Bauxite. — Briques de silice. — Matières réfractaires basiques.....	38
Graphite. — Fer chromé. — Carborundum. — Parois refroidissantes...	39

## II. — Appareils métallurgiques.

Classification des fourneaux.....	40
I. Fourneaux où la matière est au contact du combustible.....	40
A. — Grillage.....	40
B. — Réduction.....	42
II. Fourneaux où la matière est en contact avec les gaz brûlés.....	42
Grillage. — Progrès dans la construction des fours.....	43
Fours rotatifs.....	44
III. Fourneaux à vase clos. — Four à vent.....	45
Grillage de la blende.....	46
Four Deplace.....	48
Poids de combustible consommé dans les fourneaux.....	49
Construction des appareils métallurgiques.....	50
Cheminées.....	51
Calcul de leur hauteur.....	53
Formule Lafon pour le calcul des cheminées.....	53
<b>Appareils mécaniques employés dans la métallurgie</b> .....	54
Machines soufflantes.....	54
— à gaz pour aciéries.....	58
Ventilateurs.....	59
Utilisation des gaz de hauts fourneaux.....	60
Épuration — —.....	65
Appareils à chauffer l'air : 1° Appareils en fonte.....	70
2° Appareils régénérateurs.....	71



## III. — Contrôle des opérations thermiques.

*Pyrométrie et thermométrie, analyseurs de gaz*

	Pages.
Mesure des températures.....	73
Méthodes pyrométriques.....	73
Echelle des températures de 500 à 1.400°.....	75
Échelles de températures et couleurs de revenu.....	75
Montres de Seger et décimales.....	77
Points de fusion de sels purs.....	77
Table de conversion des températures Fahrenheit en centigrades et <i>vice-versa</i> , d'après Alb. Sauveur.....	78

## IV. — Métallurgie du fer.

1. *Fabrication de la fonte.*

Minerais de fer.....	83
Calcination et grillage.....	84
Cassage du minerai. — Préparation du lit de fusion.....	85
Rendement du lit de fusion.....	86
Hauts fourneaux. — Description sommaire.....	87
Proportions des hauts fourneaux.....	88
Soufflerie. — Séchage du vent.....	89
Dimensions des hauts fourneaux modernes.....	90
Appareils de chargement. — Accessoires divers.....	91
Conditions de marche des hauts fourneaux anglais.....	92-93
L'industrie française de la fonte; sa situation avant la guerre, son état actuel.....	95
Production de minerai de fer de la France.....	95
Production pendant les années 1927 et 1928.....	96
Extraction des mines et des minières.....	97
Production de minerais marchands.....	98
Main-d'œuvre.....	99
Commerce extérieur.....	101
Importations.....	101
Exportations.....	102
Hauts fourneaux.....	103
Situation de l'industrie de la fonte de 1914 à 1924.....	105
Production de fonte pendant l'année 1928.....	105

	Pages.
Hauts fourneaux existants. Production française en 1927.....	109
Matières premières consommées.....	110

## II. Fabrication du fer.

Fabrication du fer par soudage.....	112
Puddlage.....	116

## III. Fabrication de l'acier.

L'industrie française de l'acier ; sa situation avant la guerre ; son état actuel.....	117
Situation avant la guerre.....	117
Production de 1888 à 1913.....	118
Production annuelle d'acier de 1913 à 1927.....	122
Production d'acier fondu pendant l'année 1928.....	123
Production mensuelle d'acier brut.....	124
Consistance des usines à acier.....	126
Nombre d'appareils à feu au 1 <sup>er</sup> janvier 1928.....	126
Production de demi-produits et produits finis en 1925, 1926, 1927 et 1928.....	127
Consommation de matières premières des aciéries en 1924, 1925, 1926 et 1927.....	128
Acier au creuset.....	128
Acier électrique.....	128
Affinage par le vent. — Procédé Bessemer.....	128
Déclin du procédé Bessemer.....	131
Procédé basique Thomas.....	132
Développement de l'acier Thomas.....	133
Procédé Martin-Siemens.....	136
Lutte entre les procédés Martin et Thomas.....	141
Traitement du métal obtenu par fusion.....	142
Fours à réchauffer.....	143
Dégrossissage et laminage.....	143
Affinage par cémentation oxydante. — Fonte malléable.....	147
Acier de cémentation.....	148
Variante.....	148
Procédé Harvey.....	148
Nitruration des aciers.....	149

## V. — Électrometallurgie.

Généralités. — Voie sèche. — Voie humide.....	150-151
Principaux types de fours électriques.....	153
Fours à résistance.....	153

Pages.

Fours à induction et fours à induction et résistance.....	157
Fours à arc, ou à électrodes.....	158
Fours pour électrolyse.....	162
Données générales. Les électrodes.....	163
Fabrication de l'acier.....	165
Électrodes.....	167
Appareillage électrique.....	168
Transformateurs.....	169
Opération métallurgique.....	170
Point de vue économique.....	172
Fabrication des ferros.....	174
Développement et état actuel de l'électrométallurgie.....	178
Production de l'acier et des fontes spéciales en France.....	179
Production des lingots d'acier au four électrique dans les différents pays.....	181
Influence de la guerre sur le développement de l'aciérie électrique.....	181
Situation actuelle à l'Étranger.....	183
Importance du four électrique pour l'avenir de la sidérurgie française.....	185

## VI. — Essais mécaniques.

## § 1. — Essais de traction.

Machines d'essai.....	187
Éprouvettes d'essai.....	187
Prélevement et préparation des éprouvettes.....	190
Grandeurs mesurées dans l'essai de traction.....	190
Cas des métaux à faibles allongements.....	192

## § 2. — Essais de dureté..... 192

## § 3. — Essai de flexion par choc sur barreaux non entaillés.

Appareils d'essai.....	195
Éprouvettes d'essai.....	195

## § 4. — Essai de flexion par choc sur barreaux entaillés.

Appareils d'essai.....	196
Éprouvettes d'essai.....	197
Conditions d'essai.....	197

## § 5. — Essai d'emboutissage..... 198

## § 6. — Essais de pliage..... 199

## § 7. — Essai de texture..... 199

## § 8. — Essai de soudabilité..... 200



	Pages.
§ 9. — <i>Essai de thermoélectricité</i> .....	200
Qualités types et caractéristiques des fers et aciers courants.....	201
Profils unifiés. {	206
	207
	208
	209
	210
211	
215	
Rails de chemins de fer.....	216
Rails de tramways à gorge.....	217
Classification commerciale des fers laminés.....	219
Propriétés mécaniques des métaux à chaud.....	220
Classification des aciers ordinaires.....	223
<b>VII. — Diagrammes d'équilibres.</b>	
Différentes formes des diagrammes d'équilibres binaires.....	224
Transformations dans les alliages solides.....	228
Diagrammes d'alliages ternaires.....	230
Diagramme Fe-C.....	229
<b>VIII. — Métallographie microscopique.</b>	
Polissage.....	231
Principaux réactifs.....	232
<b>IX. — Macrographie.</b>	
Principaux réactifs.....	235
<b>X. — Trempe, recuit, revenu.</b>	
Définition de la trempe.....	237
Trempe des aciers.....	237
Facteurs de trempe.....	237
Influence de la composition.....	238
Influence du bain de trempe.....	240
Défauts de trempe.....	240
Fours de trempe.....	241
Revenu.....	242
Trempe et revenu des alliages légers d'aluminium.....	243
Recuit.....	244
Destruction de la trempe.....	244



	Pages.
Destruction de l'écaillageage .....	244
Gas des déformations locales .....	245
Recuit des produits bruts de coulée .....	245
Régénération des aciers surchauffés .....	246
Trempe des aciers cémentés .....	246
Coalescence .....	246
Fonte malléable américaine .....	247
Diagramme de traitement thermique des aciers .....	247

## XI. — Métaux autres que le fer.

### *Cuivre.*

Minerais .....	250
Principes du traitement par voie sèche des minerais de cuivre .....	250
Fusion pour mattes .....	250
Fusion du minerai grillé .....	251
Fusion pyritique et semi-pyritique .....	254
Convertissage de la matte .....	254
Traitement de la matte au réverbère .....	255
Affinage du cuivre brut .....	256
Raffinage électrolytique .....	256
Production du cuivre par voie humide .....	257
Fusion électrique .....	257
Propriétés du cuivre. — Usages .....	258
Qualités de cuivre .....	260
Production du cuivre .....	261
Production mondiale du cuivre en tonnes métriques .....	262
Prix .....	262
Marché des minerais de cuivre .....	263
Formule de Swansea .....	264
Tableau A (valeurs d'avant-guerre) .....	264
Tableau B. — Tableau des frais de traitement à retrancher de la valeur de l'unité de cuivre donnée par le tableau précédent .....	265
Marché des minerais et mattes de cuivre contenant des métaux précieux .....	265
<i>Principaux alliages de cuivre.</i>	
Laitons ordinaires .....	267
Diagramme Cu-Zn .....	267
Laitons spéciaux .....	269
Bronzes .....	274
Diagramme Cu-Sn .....	276
Alliages cuivre-aluminium .....	276

	Pages.
Diagramme Cu-Al .....	277
Alliages cuivre-nickel.....	279
Alliages cuivre-nickel-aluminium.....	279
Maillechor .....	280
Monel.....	280
Alliages cuivre-manganèse.....	281
Alliages cuivre-silicium.....	282
<i>Plomb.</i>	
Méthode par grillage et réaction.....	282
— — réduction.....	283
Grillage au convertisseur.....	284
Procédé de grillage par aspiration.....	284
Méthode par précipitation.....	290
Condensation des fumées.....	294
Affinage.....	294
Essai des minerais.....	295
Désargentation du plomb d'œuvre.....	295
Désargentation par électrolyse.....	296
Propriétés du plomb. — Usages.....	297
<i>Alliages de plomb.</i>	
Production mondiale du plomb en tonnes métriques.....	299
Prix.....	299
Marché des minerais de plomb et des plombs d'œuvre. — I. Minerais.....	300
II. Plomb argentifère en lingots.....	303
Conditions en usage pour le pesage, l'échantillonnage et les essais du plomb argentifère.....	303
<i>Zinc.</i>	
Minerais.....	304
Traitement métallurgique.....	304
Récipients de distillation.....	305
Condenseurs.....	305
Étouffoirs.....	306
Fours de chauffage.....	306
Marche d'une opération.....	306
Utilisation des résidus.....	307
Électrometallurgie du zinc.....	307
Extraction du zinc par électrolyse.....	308
Raffinage.....	309

	Pages.
Laminage.....	309
Propriétés du zinc. — Usages.....	310
Marché des minerais.....	310
Pays producteurs de zinc. — Production.....	310
Prix.....	311
<i>Cadmium.</i>	
Minerais.....	312
Métallurgie.....	312
Propriétés du cadmium. — Usages.....	313
Alliages de cadmium.....	313
<i>Étain.</i>	
Minerais.....	314
Traitement des minerais.....	314
Rendements.....	315
Traitement des déchets de fer-blanc.....	316
Propriétés de l'étain. — Usages.....	316
Production de l'étain.....	316
Marché de l'étain.....	317
Prix.....	317
<i>Nickel.</i>	
Minerais.....	318
Métallurgie du nickel.....	318
Réduction de l'oxyde de nickel.....	320
Affinage.....	320
Électrométallurgie.....	320
Propriétés du nickel. — Usages.....	321
Production.....	321
Prix.....	322
Aciers au nickel.....	322
Aciers nickel-chrome.....	323
Fontes au nickel.....	326
<i>Cobalt.</i>	
Minerais.....	327
Métallurgie.....	327
Propriétés du cobalt. — Usages.....	327
Production et prix.....	328



	Pages.
<i>Antimoine.</i>	
Minerais.....	328
Grillage de la stibine.....	329
Influence de la guerre sur la technique de la métallurgie de l'antimoine.....	330
Production de l'antimoine.....	330
Déchets et prix de revient.....	331
Marché des minerais d'antimoine.....	331
Propriétés de l'antimoine. — Ses emplois. — Ses alliages.....	333
Production mondiale.....	333
<i>Mercure.</i>	
Minerais.....	333
Métallurgie.....	333
Pays producteurs.....	334
Propriétés du mercure. — Ses emplois.....	334
Marché.....	334
Production.....	334
Prix.....	334
<i>Aluminium.</i>	
Métallurgie de l'aluminium.....	336
Traitement de la bauxite pour la préparation de l'alumine pure.....	336
Préparation de l'aluminium.....	337
Propriétés de l'aluminium. — Usages.....	337
Principaux alliages d'aluminium.....	338
Usages divers de la bauxite.....	340
Production d'aluminium pendant et après-guerre en tonnes métriques.....	341
<i>Magnésium.</i>	
Minerais.....	341
Métallurgie.....	341
Propriétés du magnésium. — Ses emplois.....	341
<i>Bismuth.</i>	
Minerais.....	342
Métallurgie.....	342
Propriétés du bismuth. — Ses emplois.....	342

**Métaux précieux.***Or.*

	Pages.
Minerais.....	343
Amalgamation.....	343
Cyanuration.....	343
Chloruration.....	344
Emplombage ou encuvrage.....	344
Affinage.....	344
Gisements aurifères en France.....	345
Recherche.....	345
Teneur.....	346
Propriétés de l'or. — Ses emplois.....	346
Marché de l'or.....	346
Production mondiale.....	346

*Argent.*

Minerais.....	347
Métallurgie de l'argent.....	347
Raffinage.....	347
Production mondiale.....	348
Propriétés de l'argent. — Ses emplois.....	348

*Platine.*

Minerais.....	349
Métallurgie.....	349
Propriétés du platine. — Ses emplois.....	349
Production mondiale.....	349

**Métaux secondaires.**

Chrome, molybdène, manganèse, tungstène, vanadium, titane.....	350
Aciers au chrome.....	350
Aciers au tungstène.....	351
Aciers au manganèse.....	351
Aciers à coupe rapide.....	351

## LÉGISLATION DU TRAVAIL.

## Généralités.

	Pages.
<i>Des conventions relatives au travail</i> .....	A 1
Du contrat de travail.....	A 1
Du salaire.....	A 7
Du placement des travailleurs.....	A 8
Taxe d'apprentissage.....	A 14
<i>Des groupements professionnels</i> .....	A 20
Loi du 21 mars 1884.....	A 20
<i>Des conflits du travail</i> .....	A 23
<i>De la prévoyance sociale</i> .....	A 24
Accidents du travail.....	A 24
Assurances sociales.....	A 39
<i>De la durée du travail</i> .....	A 45
Loi du 23 avril 1919.....	A 45
<i>Du repos hebdomadaire et des jours fériés</i> .....	A 45
<i>Hygiène et sécurité des travailleurs</i> .....	A 46
<i>Emploi des ouvriers étrangers</i> .....	A 47
<i>Relations avec l'inspection du travail</i> .....	A 50
<i>Médaillés du travail</i> .....	A 51

## Législation spéciale.

<i>Durée du travail</i> .....	A 53
<i>Travail de nuit</i> .....	A 60
<i>Repos des spécialistes dans les usines à feu continu</i> .....	A 61
<i>Hygiène des travailleurs</i> .....	A 64
<i>Sécurité des travailleurs</i> .....	A 65
<i>Emploi des enfants et des femmes dans la métallurgie</i> .....	A 69
<i>Établissements insalubres, dangereux ou incommodes</i> .....	A 70

# TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

<b>A</b>		Pages.
	Pages.	
Acier (fabrication).....	117 et 165	
— (production).....	122	
— électrique (production)...	180	
— au creuset.....	128	
— au chrome.....	350	
— de cémentation.....	148	
— au manganèse.....	351	
— au nickel.....	322 et 326	
— au nickel-chrome.....	323	
— nitruration (de l').....	149	
— rapide composition.....	351	
— au tungstène.....	357	
Aciérie électrique.....	181	
Affinage de l'acier par le vent.	128	
Affinage de l'acier par cémenta- tion oxydante (Procédé Har- vey).....	148	
— du cuivre brut.....	256	
— du plomb.....	294	
— du nickel.....	228	
— de l'or.....	344	
Agents réducteurs (fondants, laitiers).....	31	
Agglomération des houilles... ..	20	
Alfénium.....	338	
Alliages d'aluminium.....	338	
— de cuivre.....	267	
Alugyr.....	338	
Aluminium.....	336	
Antimoine.....	328	
— (minerais).....	328	
Appareils à chauffer l'air.....	70	
		Pages.
Appareils mécaniques employés		
— en métallurgie.....	54	
— métallurgiques.....	40	
— métallurgiques (cons- truction).....	50	
— de chargement.....	91	
Argent.....	347	
<b>B</b>		
Bismuth.....	342	
Bois.....	2	
— (carbonisation des).....	13	
Bronzes.....	274	
<b>C</b>		
Cadmium.....	312	
Cahier des charges (U. F.)....	188	
Calcination et grillage des mi- nerais de fer.....	84	
Cassage du minerai de fer....	85	
Cendres de houille (composition).	9	
Chauffage au charbon pulvérisé.	29	
Cheminées.....	51	
Chrome.....	350	
Classification des fers laminés ..	219	
Cobalt.....	327	
Coke.....	8	
— (fabrication).....	14-17	
Combustibles artificiels.....	13	
— (emploi des).....	25	
— (consommations des sours métallurgiques)	49	
— liquides.....	12	
— naturels.....	2-4-5	



	Pages.		Pages.
Combustion.....	25	Extraction du zinc par élec-	
— spontanée des char-		trolyse.....	308
— bons.....	10	Échappement des gaz des mo-	
Condensation des fumées de		teurs à gaz.....	61
plomb.....	394		
Conditions en usage pour le pe-		<b>F</b>	
sage, l'échantillonnage et les		Fabrication de la fonte. ...	83 à 95
essais du plomb argentifère..	303	Fabrication du fer (par soudage,	
Constantes pour teneurs en si-		puddlage).....	116
lice des laitiers.....	32	Fer (minerais de).....	83
Contrôle des opérations ther-		— (métallurgie du).....	83 à 149
miques.....	73	— (martelage du).....	114
Conversion des températures... 78		Ferros.....	174
Convertissage de la matte..... 254		— (fabrication au four élec-	
Cornières (profils unifiés)..... 206		trique).....	174
Couleurs de revenu.....	75	Fondants.....	31
Cuivre.....	250	Fontes spéciales (production de	
— (minerais).....	250	la France).....	95
— alliages.....	267	— au nickel.....	326
<b>D</b>		Formule de Swansea.....	264
Densité des combustibles.....	27	Fourneaux.....	40
Désargentation du plomb d'œu-		Fours pour distillation en vase	
vre.....	295	clos.....	18
— par électrolyse.....	296	Fours à puddler.....	116
Diagrammes d'équilibres.....	224	— souder.....	112
Diagramme du traitement ther-		— rotatifs.....	44
mique des aciers.....	247	— à réchauffer.....	143
Duralumin.....	338	— électriques (principaux	
<b>E</b>		types).....	153
Electrodes de fours. 158-163-167-173		— électrométallurgiques ...	150
Électrometallurgie.....	150	— (données générales)....	163
— du nickel.....	320	Fusion électrique du cuivre... 257	
— du zinc.....	308	— pour mattes.....	250
Essais aciers courants.....	187	— du minerai de cuivre	
— des minerais de plomb ..	295	grillé.....	252
Étain.....	314	— pyritique et semi-pyri-	
— (minerais).....	314	tique.....	254
		<b>G</b>	
		Gaz de hauts fourneaux (com-	
		position).....	11
		Gaz de hauts fourneaux (épara-	
		tion).....	65

	Pages.		Pages.
Grillage au convertisseur(plomb)	284	Matériaux réfractaires.....	37
— par aspiration (plomb) ..	290	Mercure.....	333
— de la stibine.....	329	Métallographie.....	231
Grillage.....	43	Métaux autres que le fer.....	250
— de la blende.....	46	— précieux.....	343
		— secondaires (chrome, mo- lybdène, tungstène, vanadium, titane).....	350
<b>H</b>		Méthode par précipitation (plomb).....	294
Hauts fourneaux (proportions, marche).....	88-90-103	Molybdène.....	350
Haut fourneau électrique.....	152	Monel.....	280
Houille.....	8		
— (préparation mécanique de la).....	20	<b>N</b>	
		Nickel.....	318
<b>L</b>		— (minerais).....	318
Laitiers.....	32	— (alliages).....	278-284-286-322
Laitons ordinaires.....	267	— aciers au nickel.....	326
Laitons spéciaux.....	269	— fontes au nickel.....	326
Laminage de l'acier.....	143		
— du zinc.....	310	<b>O</b>	
Lautal.....	338	Or.....	343
Législation du travail.....	A, 1	— (minerais).....	343
Lignite.....	7	— (alliages).....	346
Lit de fusion.....	85		
		<b>P</b>	
<b>M</b>		Platine.....	349
Machines soufflantes.....	54	Plomb.....	282
Macrographie.....	235	— (minerais).....	282
Magnésium.....	344	Pouvoir calorifique des combus- tibles.....	2
Maillechort.....	280	Prix du cuivre.....	262
Manganèse.....	350	— de l'étain.....	317
Marché des minerais :		— du nickel.....	322
Zinc.....	310	— du plomb.....	300
Antimoine.....	332	— du zinc.....	311
Plomb et plombs d'œuvre.....	300	Pyrométrie et thermométrie.....	73
Marché de l'étain.....	317	Phosphore (dans la houille)....	8
— des minerais du cuivre..	203		
— des mattes contenant des matériaux précieux.....	265	<b>Q</b>	
— de l'or.....	346	Qualités du cuivre.....	260
Matériaux d'addition.....	31		



## TABLES ET FORMULES USUELLES

	Pages:
Arithmétique .....	I
<i>Proportions</i> .....	I
<i>Progressions</i> .....	I
Trigonométrie .....	II
<i>Facteurs usuels</i> .....	III
Géométrie .....	IV
<i>Surfaces</i> .....	IV
<i>Volumes</i> .....	V
Carrés, cubes, racines carrées, racines cubiques, circonférences, surfaces et logarithmes des nombres ou diamètres de 1 à 105 .....	VI
Arcs, cordes, flèches et surfaces des segments .....	IX
Tangentes et cotangentes des angles de 0 à 90° .....	IX
Sinus et cosinus des angles de 0 à 90° .....	XI
Intérêts composés .....	XII
Temps de l'amortissement .....	XIII
Valeur de 1 franc payable à la fin de $n$ années .....	XIV
Taux de l'amortissement .....	XIV
Annuités d'amortissement .....	XV
Transformation des pentes métriques en degrés d'inclinaison .....	XVI
Transformation des degrés d'inclinaison en pentes métriques .....	XVI
Transformation de fractions ordinaires en fractions décimales .....	XVI
Transformation des litres par seconde en litres par minute .....	XVI
Mesures (Loi du 2 avril 1919) .....	XVII
Mesures de la marine .....	XXII
<i>Mesures de longueur</i> .....	XXII
<i>Mesures topographiques</i> .....	XXII
<i>Mesures de volume</i> .....	XXII
Mesures de certaines substances .....	XXIII
Mesures anglaises .....	XXIII
Autres mesures étrangères .....	XXIV
<i>Mesures de longueur</i> .....	XXIV
<i>Mesures de poids</i> .....	XXIV
Anciennes mesures françaises .....	XXIV
Poids et diamètres des monnaies .....	XXV
Monnaies usuelles des pays étrangers .....	XXV
Mesures agraires .....	XXVI
Densités des gaz .....	XXVI



	Pages.
Densités des vapeurs .....	XXVI
Densités des liquides .....	XXVI
Densités des solides .....	XXVII
Poids des feuilles de tôle en fer laminé, cuivre rouge, plomb, zinc, étain, argent, aluminium .....	XXVIII
Numéros et poids des feuilles de zinc laminé .....	XXVIII
Poids des fers carrés et ronds .....	XXIX
Météorologie .....	XXXI
Températures .....	XXX
Vitesse du son et de la lumière .....	XXX
Pressions des vents .....	XXX
Neige .....	XXX
Points de fusion .....	XXXI
Points d'ébullition .....	XXXI
Coefficients de dilatation linéaire .....	XXXI

### Extrait du catalogue de la librairie Dunod.

Organisation industrielle et commerciale .....	XXXV
Enseignement général et professionnel .....	XXXIII
Mécanique et machines .....	XL
Automobilisme. — Aéronautique .....	XLIV
Électricité. — Télégraphie. — Téléphonie .....	XLVI
Chimie. — Analyse chimique .....	XLX
Industries diverses .....	LI
Agriculture .....	LIII
Architecture. — Construction. — Travaux publics .....	LIV
Chemins de fer et tramways .....	LX
Géologie. — Mines. — Métallurgie .....	LXI

## BIBLIOGRAPHIE

Principaux ouvrages sur la **Métallurgie** parus en France, d'avril 1929 à avril 1930 (1). (*Prix sous réserve de variations.*)

(Voir aussi le catalogue page xxxiv de l'appendice.)

- La production sidérurgique de l'Europe continentale et l'entente internationale de l'Acier.** C. NATTAN-LARRIER. In-8° de 332 pages. Broché..... 40 fr.
- Déformations permanentes et ruptures des aciers. Les causes prévues. Les accidents.** P. RÉGNAULD. In-8° de 92 pages avec 31 figures. Broché..... 22 fr.
- La fabrication de la fonte malléable.** C. BUSQUET. In-8° de viii-160 pages avec 144 figures. Relié, 45 fr. Broché..... 36 fr.
- Renforcement des soudures couvre-joints discontinus soudés.** E. HOEHN. In-8° de 103 pages avec 119 figures et 7 tableaux. Broché..... 20 fr.
- Manuel pratique de soudure autogène.** R. GRANJON et P. ROSEMBERG. 2<sup>e</sup> édition. — In-8° de iv-410 pages. Relié, 40 fr. Broché 31 fr.
- Analyse des métaux par électrolyse. — Métaux industriels. — Alliages. — Minerais. — Produits d'usine.** A. HOLLARD et L. BERTIAUX. 4<sup>e</sup> édition. — In-8° de xvi-232 pages avec 28 figures. Relié, 67 fr. Broché..... 58 fr.
- Le traitement du minerai de zinc et de plomb au four rotatif.** N.-C. KYRIACOU. In-4° de 12 pages avec 15 figures. Broché. 25 fr.

Articles sur la **Métallurgie** parus dans *La Technique Moderne* d'avril 1929 à avril 1930.

- Les progrès récents des fours électriques à induction à haute fréquence.** G. RIBAUD. In-4° de 13 pages avec 18 figures (*Technique moderne*, 1929, n° 8 et 9)..... 16 fr.

(1) L'ordre adopté est l'ordre chronologique d'apparition.

- Le problème de la corrosion des métaux ferreux.** V. SAILLARD.  
In-4° de 9 pages avec 5 figures et 8 tableaux (*Technique moderne*, 1929, n° 21)..... 8 fr.
- Les méthodes d'examen microscopique des minerais métalliques.** J. ORCEL. In-4° de 11 pages avec 14 figures (*Technique moderne*, 1929, n°s 23 et 24)..... 16 fr.
- La rationalisation dans le travail des métaux.** P. COMPAING DE LA TOUR-GIRARD. In-4° de 7 pages (*Technique moderne*, 1929, n° 23)..... 8 fr.
- Le matériel moderne de l'électrotechnique. — Les applications de l'électricité dans la métallurgie et dans les mines.** L. GALZIN. In-4° de 13 pages avec 48 figures (*Technique moderne*, 1930, n° 1)..... 12 fr. 50
- Les machines-outils de la grosse métallurgie.** J. SEIGLE, 16 pages avec 61 figures (*Technique moderne*, 1930, n°s 5, 7)..... 16 fr.

(Voir aussi le catalogue page xxix de l'édition.)

La production sidérurgique de l'Europe continentale et l'Europe internationale de l'acier. — *Revue de l'Industrie et du Commerce*, 1929, n° 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

# MÉTALLURGIE

---

La *métallurgie* est l'art d'extraire industriellement, des matières premières dénommées *minerais*, les *métaux* ou leurs *alliages* et de les mettre sous une forme propre à leur utilisation pour les industries qui en sont tributaires.

Les *métaux* sont généralement obtenus isolés avec une teneur plus ou moins faible d'impuretés. La production directe d'alliages industriels en partant d'un minerai est exceptionnelle ; c'est cependant le cas pour le métal *Monel*, alliage de cuivre et de nickel qui s'extraît par réduction directe d'un minerai complexe de ces deux métaux.

Les procédés industriels mis en œuvre pour en extraire les métaux sont trop nombreux pour pouvoir être décrits en détail dans un ouvrage du volume de cet Agenda. Ils s'accroissent en nombre et évoluent chaque jour, mais tous sont basés sur des principes scientifiques et des données techniques constituant les bases de la métallurgie. Ces principes et ces données sont résumés dans la première partie du présent ouvrage.

Abstraction faite du minerai, deux éléments essentiels et communs à toutes les opérations métallurgiques interviennent pour l'obtention des métaux : le *combustible* et la *main-d'œuvre*. A côté de ces éléments, il y a lieu de considérer, en outre, les *agents réducteurs* et *fondants* ainsi que les *matériaux réfractaires*, ces derniers servant à la construction des appareils.



## I. — AGENTS MÉTALLURGIQUES

## COMBUSTIBLES

## Généralités.

**Pouvoir calorifique.** — Le *pouvoir calorifique* d'un corps est la somme de chaleur développée par l'unité de poids de ce corps lors de sa combustion complète :

La combustion de :

1 kilogramme de	C	se transformant en	CO	d'une	2.473
—	C	—	CO <sup>2</sup>	—	8.080
—	CO	—	CO <sup>2</sup>	—	2.403
—	H	—	{ H <sup>2</sup> O liq.	—	34.462
—		—	{ H <sup>2</sup> O vap.	—	29.161
—	CH <sup>4</sup>	—	CO + H <sup>2</sup> O	—	13.063
—	C <sup>2</sup> H <sup>4</sup>	—	CO <sup>2</sup> + H <sup>2</sup> O	—	41.858
—	Fe	—	Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	—	1.887
—	Fe	—	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	—	1.677
—	Fe	—	FeO	—	1.258
—	Si	—	SiO <sup>2</sup>	—	7.830

Calories.  
1 calorie est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré centigrade la température de 1 kilogr. d'eau.

## COMBUSTIBLES NATURELS

**Combustibles naturels.** — On trouvera dans le tableau suivant la composition, la classification et le pouvoir calorifique des combustibles usuels. (Voir pp. 4 et 5.)

## Bois.

Les bois se composent tous d'une matière ligneuse identique, la *cellulose*, qui forme le *tissu* même des végétaux, puis d'un ensemble de substances étrangères, en partie azotées, telles que le tanin, la résine, la gomme; des matières colorantes, etc., formant la *matière incrustante*.

On trouvera dans le tableau suivant le poids des bois les plus usités dans l'industrie :

## Poids du stère de bois.

	Séché à l'air, tenant de 20 à 30 0/0 d'eau. kilog.	Absolument sec, après chauffage à 140°. kilog.
Chêne en quartiers ou grosses bûches.....	457	366
Chêne en gros rondins .....		
— dans les terrains du Midi de la France.	500 à 525	»
— dans le Centre de la France .....	450 à 480	»
— en petits rondins de branches .....	338	270
Hêtre en quartiers ou grosses bûches .....	467	
— en rondins .....	440 à 480	
— en branchages .....	300 à 340	
— en rondins mêlés de branches et de brins .....	380	304
Sapin rouge des Alpes, en rondins .....	300 à 340	
Pin sylvestre des Vosges.....	330 à 380	
Bouleau.....	300 à 350	
— et saule en petits rondins.....	390	311
— et tremble en bûches et rondins ..	368	294
Peuplier noir .....	221	
— blanc .....	200	
Fagots mêlés, mais où le Hêtre domine....	125	100

Sur pied, ou à l'état vert, la proportion d'eau peut aller à 30 et 40 0/0: cette proportion d'eau qui diminue la valeur des bois varie beaucoup pour une essence, un sol et un climat donnés, avec l'époque de l'année: elle atteint son maximum au printemps et son minimum en hiver, après la chute des feuilles.

La forte teneur en eau du bois vert est une objection essentielle opposée à l'emploi de ce combustible dans l'industrie. Elle en grève lourdement les frais de transport et diminue le pouvoir calorifique. Cependant, après une année de dessiccation à l'air libre, le bois coupé ne contient plus que 50 0/0 d'humidité; cette teneur tombe même à 15 ou 20 0/0 dans le bois entreposé à couvert. Il est d'ailleurs facile de dessécher le bois de chauffage sans frais en utilisant les chaleurs perdues des foyers industriels. L'avantage de cette opération est mis en évidence dans le premier rapport de la *Commission d'utilisation des combustibles*, instituée en 1920 auprès du Ministre des travaux publics. Il ressort de ce rapport, que si le pouvoir calorifique du bois est de 4.250 calories lorsqu'il est parfaitement sec (teneur en humidité = zéro), ce pouvoir tombe à 1.812 calories pour une teneur en eau de 50 0/0.

D'après les chiffres donnés dans le rapport, le pouvoir calorifique supposé égal à 10000 calories à l'état de dessiccation absolue, diminue à peu

Tableau général de la composition des combustibles et privés

NOMS DES COMBUSTIBLES	COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE			PROPORTION D'OXYGÈNE par 1.000 de carbone	PROPORTION D'HYDROGÈNE par 1.000 de carbone
	C	H	O (1)		
<i>Cellulose</i> (matière ligneuse pure) $C_{12}H_{10}O_{10}$ . . . . .	44,44	6,17	49,39	1111	139
<i>Bois</i> (cellulose et matière incrustante) . . . . .	50 à 51,75	6 à 6,30	41 à 41,95	880 à 800	120 à 120
<i>Tourbes et bois fossiles</i> . . . . .	58 à 63	6 à 5,5	36 à 31,5	620 à 500	100 à 80
<i>Lignites</i> proprement dits (2) . . . . .	65 à 75	6 à 4	20 à 21	450 à 280	92 à 50
<i>Houilles sèches</i> à longue flamme . . . . .	75 à 80	5,5 à 4,5	19,5 à 15	260 à 190	75 à 60
<i>Houilles grasses</i> à longue flamme ou charbons à gaz . . . . .	80 à 85	5,8 à 5	14,2 à 10	180 à 120	70 à 60
<i>Houilles grasses ordinaires</i> ou charbons de forge . . . . .	84 à 89	5 à 5,5	11 à 5,5	130 à 60	65 à 50
<i>Houilles grasses</i> à courte flamme ou charbons à coke . . . . .	88 à 91	5,5 à 4,5	6,5 à 4,5	70 à 50	62 à 50
<i>Houilles anthraciteuses</i> (maigres ou demi-maigres) . . . . .	90 à 93	5,5 à 4	5,5 à 3	50 à 40	50 à 30
<i>Anthracites</i> . . . . .	93 à 95	4 à 2	3 à 3	40 à 25	35 à 50
<i>Pétroles</i> . . . . .	80 à 85	15 à 14	3 à 1	30 à 15	185 à 175

1. Cette colonne comprend, en réalité, l'oxygène et l'azote, mais la proportion d'azote dépasse rarement 1 0/0 du poids du combustible. Les pétroles et la cellulose ne renferment pas d'azote.

tibles naturels, supposés séchés à 110° de cendres.

RAPPORT de $\frac{O}{H}$ ou plutôt de $\frac{O + Az}{H}$	PAR 100 DE COMBUSTIBLE PUR proportion de matières volatiles	CHARBON obtenu par calcination en vase clos lorsque le combustible est complète- ment sec	POUVOIR CALORIFIQUE			NATURE et aspect du charbon obtenu le combustible étant en poudre
			de $C + H$	réel	industriel Eau à 0° vaporisée à 112° par kilogr. brûlé	
8	72 à 70	0,28 à 0,30	5.717	3.622	kilogr "	Pulvérul., terne.
7	70 à 65	0,30 à 0,35	3.516	3.400	3.67	Pulvérul., terne.
6 à 5	65 à 60	0,35 à 0,40	5.000 à 7.000	3.300 à 6.400	3,24 à 4	Pulvérul., terne.
5	60 à 50	0,40 à 0,50	7.000 à 7.289	6.480 à 7.000	4 à 5	Pulvérulent, par- fois brillant.
4 à 3	45 à 40	0,50 à 0,60	7.800 à 8.150	8.000 à 8.500	6,7 à 7,50	Pulvérulent, ou tout au plus fritte.
3 à 2	40 à 32	0,60 à 0,68	8.300 à 8.500	8.500 à 8.800	7,6 à 8,3	Fondu, très fen- dille.
2 à 1	32 à 26	0,68 à 0,74	8.300	8.800 à 9.300	8,4 à 9,2	Fondu, moyenne- ment compact.
1	26 à 18	0,74 à 0,82	8.600 à 8.800	9.300 à 9.600	9,2 à 10	Fondu, très com- pact, peu fen- dille.
1	18 à 10	0,82 à 0,90	8.897	9.263	9,0 à 9,50	Fritte ou pulvé- rulent.
1 à 0,75 0,20 à 0,10	10 à 8 99 à 100	0,90 à 0,92 Nul ou presque nul	" 9.887	9.300 à 9.500 11.000	9 "	Pulvérulent bril- lant.

2. On ne parle pas ici des *lignite bitumineux* qui se rapprochent plutôt des pétroles et surtout des bitumes solides. Ces lignites bitumineux donnent un charbon fondu, poreux et boursoufflé à la façon de la pierre ponce.



près régulièrement entre les limites ci-dessus de 11,5 0/0 par 10 0/0 d'humidité supplémentaire. Il passe ainsi de 100, pour la teneur 0, à 42,7, pour la teneur 50 0/0.

Les *cenclres* — dont la proportion est de 0,75 à 3,70 0/0, suivant les essences et les conditions de développement des bois — se composent surtout de carbonate de potasse et de chaux; en moindre proportions, il s'y trouve de la soude, de la magnésie, des oxydes de fer et de manganèse.

**Charbon de bois.** — Le *mètre cube* de charbon fabriqué en grand pèse en moyenne :

125 à 140 kil.	pour les charbons de sapin blanc
140 à 180 kil.	— de sapin rouge et de pin sylvestre
140 à 200 kil.	— de bois blancs tendres
200 à 240 kil.	— de bois durs

Distillé en vase clos, le charbon de bois a la composition approximative suivante :

Carbone.....	25 à 27 0/0
Eau et divers.....	50 à 45 0/0
Goudrons.....	6 à 8 0/0
Gaz.....	19 à 20 0/0

Le *pouvoir calorifique* du charbon de bois est de 8.000 calories.

### Tourbe.

La *tourbe* est un combustible provenant de la décomposition de végétaux récents et même actuels. Chaque année la tourbe s'accroît par la surface.

Son pouvoir calorifique est assez faible. Elle contient beaucoup d'eau, même après sa dessiccation à l'air libre et aussi beaucoup de matières étrangères minérales (sable, terre) qui viennent encore l'appauvrir.

Voici sa composition moyenne :

Carbone fixe.....	57 à 63 0/0
Hydrogène.....	5,5 à 6
Oxygène et azote.....	36,5 à 36
Total.....	100 100 0/0

**Cendres.** — La proportion des cendres dans la tourbe varie de 10 à 25 0/0 et même davantage: elles proviennent en majeure partie des matières terreuses entraînées.

On distingue, d'après leur origine, les *tourbes des vallées* et les *tourbes des plateaux*. Les tourbes des vallées poussent dans les terrains bas, marécageux, le long des rivières, des étangs ou marais.

et des estuaires. Tel est le cas pour les tourbières d'Amiens, d'Abbeville sur la ligne de Boulogne où on en exploite une couche de 1 mètre d'épaisseur.

La tourbe des plateaux, plus pure que la précédente, pousse sur les terrains rocheux et imperméables, les granits principalement quand ils forment cuvette. On en exploite de semblables dans les Vosges. Ces tourbières sont, en général, plus épaisses que celles des vallées.

### Lignite.

Le lignite est un combustible se rapprochant plus de la houille que la tourbe, bien qu'il s'en différencie nettement par la nature et la composition des produits gazeux et liquides de sa distillation.

Alors que cette opération appliquée à la houille donne, en outre de goudrons et de produits carburés divers, des eaux basiques ammoniacales, les lignites produisent, comme le bois, des liquides acides (acide acétique et dérivés).

Le lignite industriel se présente sous forme de masses brunâtres ou noirâtres parfois feuilletées (Bohême, Hongrie, Russie); ce dernier caractère est plutôt fâcheux au point de vue de la teneur en eau et en cendres.

Les lignites des Bouches-du-Rhône, qui sont de bonne qualité, ont une cassure conchoïdale de couleur brun noir. Ils renferment :

Carbone fixe.....	64 0/0
Hydrogène.....	5
Oxygène et azote.....	18
Cendres.....	13
Total.....	<hr/> 100 0/0

Le coke, résidu de leur distillation, est une masse noire, amorphe, sans structure. Les cendres de ces lignites sont calcaires et, par conséquent, facilement fusibles.

Le défaut le plus grave des lignites, au point de vue de leur emploi industriel, c'est leur teneur élevée en pyrite (jusqu'à 2 0/0). Le soufre y est fréquemment aussi combiné avec des matières organiques.

Certains lignites se ramollissent à la chaleur, comme le font aussi les charbons gras. On utilise alors cette propriété pour agglomérer les menus, en les chauffant au préalable à une température convenable (300°).

Le lignite est employé sous forme de briquettes obtenues par agglomération sous de fortes pressions, 1.200 à 1.500 kilogrammes par centimètre carré.

Les briquettes industrielles ont un poids spécifique de 1,2 environ. Quant à leur composition chimique, elle varie suivant le lignite employé et le point jusqu'auquel le séchage a été poussé, les limites entre lesquelles oscillent ces éléments sont (1) :

Carbone.....	52	à 56	0/0
Hydrogène.....	3,5	à 4,5	0/0
Oxygène et azote.....	12	à 25	0/0
(la plupart au-dessus de 20 dont azote au-dessous de 1)			
Soufre.....	0,1	à 1	0/0
Total de substance combustible.....	75	à 85	0/0
Cendres.....	4	à 10	0/0
Eau.....	10,5	à 18	0/0

Le pouvoir calorifique des briquettes de lignite est de 4.600 à 5.400 calories, avec du lignite de 2.000 à 3.000 calories.

### Houille et Coke.

La composition de divers types industriels de houille est donnée aux pages 4 et 5 ci-dessus.

Le *mètre cube* de coke pèse de 379 à 529 kilogrammes, suivant la houille dont il provient et le mode de carbonisation employé.

Le *pouvoir calorifique* des cokes, abstraction faite des cendres, est d'environ 8.000 calories.

**Teneur en cendres.** — La *teneur en cendres* des houilles varie entre 4 et 30 0/0. Elle est comprise entre :

4 et 8 0/0	pour les meilleures houilles
8 et 12	— bonnes
12 et 18	— médiocres

Les *cendres de coke* sont des argiles plus ou moins ferrugineuses contenant des sulfates et souvent aussi de faibles doses d'acide phosphorique.

Ci-dessous un tableau donnant quelques analyses de cendres de combustibles.

Provenance.	Menu à coke de Newcastle.				Durham	Anthracite
	0/0	0/0	0/0	0/0	extra.	Swansea.
Teneur en cendre de la houille.	8,2	7,2	7,45	8	5	16,05
Teneur en Ph. de la houille...	0,016	0,020	0,0108	0,01	0,005	0,024

On y voit que certains combustibles tels que le Durham extra sont

(1) *Le lignite*, par Jean VERDIER, *Revue de l'Ingénieur*, XXVII, n° 5, p. 343, n° 6, 1907. IRIS LILLIAD Université Lille 17.

très pauvres en phosphore, tandis que d'autres ont une teneur appréciable.

C'est un point fort important à envisager lorsqu'il s'agit de fabriquer des fontes hématites à très bas phosphore, par exemple à une teneur inférieure à 0,05 (voir *Fontes hématites*, pages 85 et 102).

Les cendres ne sont pas des matières normales de constitution de la houille, elles proviennent des parties schisteuses (charbons barrés) interposées à l'époque de la végétation qui a abouti au charbon que nous exploitons. Aussi, dans une même couche, les cendres peuvent varier dans une proportion considérable sans différence d'aspect bien sensible de la houille.

### Composition chimique des cendres de houille.

NATURE des corps dosés	TENEUR		
	maxima	minima	moyenne
SiO <sub>2</sub> .....	66	50	56
Al <sup>2</sup> O <sub>3</sub> .....	40	20	30
Fe <sup>2</sup> O <sub>3</sub> .....	15	5	8
CaO.....	3	1	2
MgO.....	1,5	0,5	1
SO <sub>3</sub> .....	1,5	0,5	1
K <sup>2</sup> O.....	3	1	2

**Fusibilité des cendres.** — La fusibilité des cendres joue un rôle important dans l'utilisation d'un combustible : aussi convient-il de se rendre exactement compte de cet élément d'appréciation. On y arrive au moyen de la « montre de Séger » (*fig. 1*), sorte de petite pyramide de 5 centimètres de hauteur et de 2 centimètres de côté à la base, pétrie avec un mélange de 1/2 cendre à essayer et



FIG. 1. — Montre de Séger.

1/2 kaolin de Saint-Yrieix. On introduit ces pyramides dans un four dont on connaît la température (four à porcelaine). Si les cendres sont infusibles, la pyramide ne subit aucune déformation.

Les cendres sont dites fusibles si le bec affaissé descend à mi-hauteur, très fusibles si l'affaissement est complet.



Voici quelques exemples de fusibilité de cendres de houilles françaises.

ORIGINE DES HOUILLES	POINT DE FUSION des cendres	TENEUR en cendres
Bessèges.....	1.500 à 1.600	
Tout-venant : fosse Saint-Louis, Anzin...	1.300	9 0/0
Fines grasses " Renard, "	au delà de 1.500	
Houille grasse, Ronchamp.....	1.440	5,5
" maigre, Blanzv.....	1.220	
" triée, ".....	1.260	8
Blanzv, schiste trié.....	1.470	64
" boules ferrugineuses.....	1.395	

L'échelle originale des montres Séger était celle du tableau ci-dessous pour les principales. Depuis on a fabriqué en France des montres décimales (voir page 76)

N° du cône de Séger. . . .	0,22	0,10a	0,5a	1a	6a	8	10	12	14	15
Temp. correspondante en degrés centigrades... .	600	900	1.000	1.100	1.200	1.250	1.300	1.350	1.410	1.435
N° du cône de Séger.....	16	18	26	28	30	32	34	36	37	38
Temp. correspondante en degrés centigrades... .	1.460	1.500	1.580	1.630	1.670	1.710	1.750	1.790	1.825	1.850

### Combustion spontanée des charbons.

Ce sont surtout les houilles sèches dans lesquelles cet accident est à craindre. Il provient en général de la présence, dans le charbon, de matières voisines de l'acide ulmique comme composition chimique.

Gaz de divers hauts fourneaux du Cleveland, marchant au coke et à l'air chaud, analysés par M. Lowthian-Bell. Les gaz sont pris au gueulard.

NOMS des usines	COMPOSITION DES GAZ				OBSERVATIONS
	CO	CO <sup>2</sup>	Az		
			H	H	
Clarence, haut fourneau de 14 <sup>m</sup> , 60 de hauteur.....	30,50	11,80	57,60	0,10	Marche peu économique. Gaz riches en éléments combustibles.
Clarence, haut fourneau de 24 <sup>m</sup> , 40 de hauteur.....	25,20	17,30	57,40	0,10	Marche économique. Gaz pauvres en oxyde de carbone.
Ormesby, haut fourneau de 23 <sup>m</sup> , 20 de hauteur.....	29,50	16,00	54,40	0,10	Allure moyenne. Gaz riches.
Consett, haut fourneau de 15 <sup>m</sup> , 40 de hauteur.....	29,50	14,70	55,90	0,10	<i>Id.</i>
Consett, haut fourneau de 15 <sup>m</sup> , 40 de hauteur.....	28,00	17,50		0,10	Allure plus économique que celle du four précédent, grâce au vent plus chaud ; par ce motif, gaz moins riches
GAZ ANALYSÉS PAR EBELMEN					
Vienne, haut fourneau de 10 <sup>m</sup> , 15 de hauteur.....	24,30	17,50	58,03	0,17	Les trois premiers hauts fourneaux marchent au coke et à l'air chaud.
Pont-l'Évêque, haut fourneau de 11 mét. de hauteur.	27,80	11,90	61,06	0,14	La marche du fourneau de Pont-l'Évêque était peu économique.
Seraing, haut fourneau de 15 <sup>m</sup> , 25 de hauteur.....	28,10	17,40	54,30	0,20	Le vent n'était chauffé qu'à 100°
Clerval, haut fourneau de 10 mètres de hauteur...	23,10	19,80	56,7	0,40	Haut fourneau au charbon de bois et à l'air chaud.
Audincourt, haut fourneau de 11 mètres de hauteur.	25,00	19,50	55,10	0,40	<i>Id.</i>

On décèle leur présence par une dissolution alcoolique de potasse qui donne, au contact du combustible essayé, une coloration brune, caractéristique.

L'écrasement de piliers ou de parties mal remblayées dans les mines est souvent aussi une cause de feu.

Il en est de même dans les soutes de navires charbonniers et même dans les stocks accumulés sur les « rivages » des mines aux époques de méventes. Ces stocks sont d'ailleurs à éviter en tout cas, car, outre le risque du feu, la qualité baisse rapidement, surtout pour les houilles à coke et à gaz.

Le remède à ces échauffements consiste à aérer et à refroidir et dans les navires, à empêcher l'accès de l'air.

### Combustibles liquides.

Jusqu'ici les tarifs douaniers prohibitifs ont rendu impossible l'emploi des combustibles extraits du pétrole brut, — même des résidus ou mazouts — (pouvoir calorifique, 10.500 calories par kilogramme) pour les usages industriels. Signalons que la situation pourra se modifier à l'avenir dans une certaine mesure, du fait de la récupération de l'Alsace et, d'autre part, du fait de la mise en exploitation de terrains pétrolifères dans le Nord de l'Algérie.

En outre, des recherches entreprises dans différentes régions de la France, ont donné des résultats fort intéressants.

Ainsi, à Herepian et à Gabian, dans l'Hérault, les venues de pétrole ont atteint une importance de 1.000 litres à l'heure à 100 mètres de profondeur.

D'autres recherches ont lieu dans le sud de la Bretagne, à Guéméné-Penfao, à Rieux, etc...

Le petit bassin pétrolifère de Pechelbronn, dans le Nord de l'Alsace, fournit annuellement de 50.000 à 60.000 tonnes d'huile brute, mais depuis quelques années la reprise des travaux souterrains a pris un grand développement : en décembre 1919, on a découvert notamment une source jaillissante à 435 mètres de profondeur, source dont on espère tirer par jaillissement, pompage et exploitation souterraine plus de 120.000 tonnes en quinze à vingt ans.

En résumé, on peut escompter dans un avenir prochain un accroissement notable de la production pétrolifère de France.

Les goudrons de houille (8.900 calories) peuvent être également utilisés.



## COMBUSTIBLES ARTIFICIELS

(Préparation.)

**Carbonisation des bois.** — La *carbonisation des bois* se fait en *meules* ou en *tas*. Il y a toujours avantage à faire marcher l'opération lentement.

Le *rendement en poids* est :

De 12 à 18 0/0, lorsque la carbonisation marche vite ;

De 32 à 33 0/0, lorsqu'elle est conduite plus lentement ;

De 26 à 27 0/0, dans les cas ordinaires.

Le *rendement en volume* est :

De 30 à 35 0/0 en général, en France ;

De 50 0/0 avec des rondins ;

De 70 0/0 avec des bois résineux de gros diamètre.

Les *meules* contiennent habituellement de 45 à 60 mètres cubes de bois.

La *durée* de la carbonisation varie de 6 à 8 jours.

**Carbonisation de la houille.** — La *carbonisation de la houille* se fait encore en *meules* ou en *tas*, dans quelques pays où on attache peu d'importance au rendement ; elle se fait dans des *fours* et dans des *fours clos* partout où le charbon a pris de la valeur.

Les *meules* ont de 3 à 4 mètres de diamètre sur 2 à 3 mètres de hauteur.

Les *tas* ont 2 à 4 mètres de largeur sur 20 à 50 mètres de longueur et 1 à 2 mètres de hauteur.

Les *fours* ont des dimensions et des dispositions très variables avec la nature des houilles traitées et les usages des bassins houillers, et, toutes les fois qu'on veut des *cokes purs*, on *lave* les charbons avant de les carboniser.

Il y a une relation intime entre la nature du charbon carbonisé et la qualité du coke qui en résulte. Les houilles très gazeuses et très grasses fournissent un coke boursoufflé et poreux, tandis que les houilles qui contiennent peu de gaz donnent un coke plus dense qui est préférable. On fait souvent un mélange des houilles des différentes sortes pour avoir un coke de meilleure qualité. Ce mélange est soumis à une préparation mécanique.

**Lavage.** — Le *lavage* donne lieu à un *déchet* de 10 à 20 0/0 sur le menu traité et, dans les installations bien étudiées, il ne coûte pas plus de 0 fr. 60 par tonne de houille lavée (prix d'avant-guerre) ; les frais peuvent doubler avec une installation défectueuse.

Lorsqu'on veut laver les *boues* ou *schlamms*, le *déchet* est de près de 50 0/0, et les *frais* s'élèvent à 1 fr. 50 et 2 francs par tonne.

Les *frais de premier établissement* d'un grand atelier de lavage, avec



ÉLÉMENTS PRINCIPAUX de la fabrication du coke métallurgique	Four à boulanger	FOURS	
		Four Smet	Fours François Dulait, Gobiet
Diamètre ou largeur.	2 <sup>m</sup> ,45 à 3 <sup>m</sup> ,60	0 <sup>m</sup> ,60 à 0 <sup>m</sup> ,70	0 <sup>m</sup> ,80 à 1 <sup>m</sup> ,25
Hauteur des pieds-droits.	0 <sup>m</sup> ,60 à 1 <sup>m</sup> ,10	0 <sup>m</sup> ,85 à 1 <sup>m</sup> ,25	0 <sup>m</sup> ,95 à 1 <sup>m</sup> ,35
Hauteur totale sous clef.	1 <sup>m</sup> ,60 à 2 <sup>m</sup> ,60	1 <sup>m</sup> ,10 à 1 <sup>m</sup> ,55	1 <sup>m</sup> ,10 à 1 <sup>m</sup> ,65
Longueur.	Four rond 5 <sup>m</sup> ,50 à 7 <sup>m</sup> ,00	5 <sup>m</sup> ,50 à 7 <sup>m</sup> ,00	5 <sup>m</sup> ,60 à 7 <sup>m</sup> ,50
Poids de la houille chargée par opération.	2.500 à 6.000 <sup>k</sup>	1.450 à 2.200 <sup>k</sup>	3.300 à 6.600 <sup>k</sup>
Hauteur de la charge sur la sole.	0 <sup>m</sup> ,55   0 <sup>m</sup> ,72   0 <sup>m</sup> ,90	0 <sup>m</sup> ,50   0 <sup>m</sup> ,75   0 <sup>m</sup> ,90	0 <sup>m</sup> ,65 à 1 <sup>m</sup> ,20
Durée correspondante de la carbonisation.	48 <sup>h</sup>   72 <sup>h</sup>   96 <sup>h</sup>	24 <sup>h</sup>   *   36 <sup>h</sup>	48 <sup>h</sup>
Rendement théorique de la houille traitée.	60 à 72 0/0	65 à 80 0/0	65 à 83 0/0
Rendement pratique en coke pour 100 de houille chargée dans le four.	45 à 60	62 à 76	63 à 78
Rapport du rendement pra- tique au rendement théo- rique.	0,75 à 0,83	0,85 à 0,95	0,90 à 0,95
Poids de houille nécessaire pour produire 1.000 kilo- grammes de coke.	1.700 à 2.000 <sup>k</sup>	1.300 à 1.650 <sup>k</sup>	1.250 à 1.650 <sup>k</sup>
Surface de la masse de houille recevant l'impression de la chaleur directement ou à travers des parois chauffées par des carneaux, par mètre cube de houille.	1 <sup>m</sup> 280   p <sup>r</sup> car- (48 <sup>h</sup> 1, 40   boni- 72 <sup>h</sup> 1, 00   ser en 96 <sup>h</sup>	6 à 7 <sup>m</sup> 2 pour car- boniser en 24 <sup>h</sup>	3 <sup>m</sup> 2,90 à 4 <sup>m</sup> 2,50 pour carboniser en 48 <sup>h</sup>

## coke métallurgique.

BELGES		Four Appolt	FOURS POUR DISTILLATION EN VASE CLOS		
Fours Coppée et Rexroth	Fours du Creusot		Four Pauwe perfectionné	Four à boulanger transformé	Four belge transformé
0 <sup>m</sup> ,42 à 0 <sup>m</sup> ,48	0 <sup>m</sup> ,40 à 0 <sup>m</sup> ,44	0 <sup>m</sup> ,29 à 0 <sup>m</sup> ,33 en haut 0 <sup>m</sup> ,43 à 0 <sup>m</sup> ,45 en bas 5 <sup>m</sup> ,50 Hauteur du compartim.	1 <sup>m</sup> ,60 à 2 <sup>m</sup> ,00	3 <sup>m</sup> ,00 à 3 <sup>m</sup> ,50	0 <sup>m</sup> ,50 à 0 <sup>m</sup> ,85
1 <sup>m</sup> ,06 à 1 <sup>m</sup> ,20	1 <sup>m</sup> ,70	5 <sup>m</sup> ,80 1 <sup>m</sup> ,12 en haut 1 <sup>m</sup> ,26 en bas 1.170 à 1.250 <sup>k</sup>	0 <sup>m</sup> ,70 à 0 <sup>m</sup> ,90	0 <sup>m</sup> ,60 à 0 <sup>m</sup> ,80	1 <sup>m</sup> ,30 à 1 <sup>m</sup> ,40
1 <sup>m</sup> ,14 à 1 <sup>m</sup> ,65 6 <sup>m</sup> ,00 à 9 <sup>m</sup> ,00 2.550 <sup>k</sup>	1 <sup>m</sup> ,83 5 <sup>m</sup> ,64 3.000 <sup>k</sup>	5 <sup>m</sup> ,80 1 <sup>m</sup> ,12 en haut 1 <sup>m</sup> ,26 en bas 1.170 à 1.250 <sup>k</sup>	1 <sup>m</sup> ,00 à 1 <sup>m</sup> ,70 6 <sup>m</sup> ,50 à 7 <sup>m</sup> ,00 4.000 à 6.700 <sup>k</sup>	1 <sup>m</sup> ,50 à 2 <sup>m</sup> ,24 Four rond. 4.200 à 5.000 <sup>k</sup>	1 <sup>m</sup> ,55 à 1 <sup>m</sup> ,75 5 <sup>m</sup> ,00 à 8 <sup>m</sup> ,00 3.800 à 4.750 <sup>k</sup>
0 <sup>m</sup> ,80	1 <sup>m</sup> ,60	5 <sup>m</sup> ,00	0 <sup>m</sup> ,45 à 0 <sup>m</sup> ,65	0 <sup>m</sup> ,53 à 0 <sup>m</sup> ,70	1 <sup>m</sup> ,30 à 1 <sup>m</sup> ,40
24 <sup>h</sup>	24 <sup>k</sup>	24 à 29 <sup>h</sup>	48 à 72 <sup>h</sup>	72 à 96 <sup>h</sup>	48 à 72 <sup>h</sup>
72 à 83 0/0	74 0/0	64 à 78 0/0	"	"	"
68 à 78 1/2	71	60 à 63 1/2	67 à 70 + 2 à 3 <sup>k</sup> de goudron et 0 <sup>k</sup> ,5 à 0 <sup>k</sup> ,6 de sulfate d'am- moniaque.	68 à 73	67 1/2 à 71
0,95	0,95	0,95 à 0,97	Un peu plus de 0,95		
1.275 <sup>k</sup>	1.420 <sup>k</sup>	1.670 à 1.360 <sup>k</sup>	1.430 à 1.500 <sup>k</sup>	1.380 à 1.470 <sup>k</sup>	1.350 à 1.480 <sup>k</sup>
6 <sup>m</sup> 2,90 pour carboniser en 24 <sup>h</sup>	6 <sup>m</sup> 2,00 pour carboniser en 24 <sup>h</sup>	10 <sup>m</sup> 2,00 pour carboniser en 24 <sup>h</sup>	1 <sup>m</sup> ,65 à 2 <sup>m</sup> ,20 pour carbo- niser en 72 <sup>h</sup> , suivant que la sole a 0 <sup>m</sup> ,11 ou 0 <sup>m</sup> ,07 d'é- paisseur.	1 <sup>m</sup> ,75 pour carboniser en 72 <sup>h</sup> 1 <sup>m</sup> ,45 pour carboniser en 96 <sup>h</sup>	4 <sup>m</sup> ,60 pour carboniser en 48 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup> ,30 pour carboniser en 72 <sup>h</sup>

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX de la fabrication du coke métallurgique	FOUR à boulanger	FOURS	
		Four Smet	Fours François, Dulait, Gobiet
Frais de premier établissement par 1.000 kilogr. de houille carbonisée en 24 heures.	500 à 900 fr. compris voies et accessoires qui représentent $\frac{1}{5}$ de la dépense.	600 à 700 fr. pour le four 150 à 175 fr. pour voies et broyeurs 250 à 275 fr. pour atelier de lavage.	850 à 1.100 fr.
Durée d'un four. — Temps de service jusqu'à réparation profonde nécessaire.	Presque indéfinie.	Plus de 5 à 6 ans.	Semble moins solide que le F. Smet.
Frais journaliers :			
Par 1.000 <sup>kg</sup> de coke produit	Main- { Lavage. 0	0 <sup>fr</sup> ,35 à 0 <sup>fr</sup> ,45	Frais analogues à ceux qu'entraîne le four Smet.
	d'œuvre { Broyage. 0	0 <sup>fr</sup> ,25 à 0 <sup>fr</sup> ,30	
	{ Carbonisat. *	1 <sup>fr</sup> ,00 à 1 <sup>fr</sup> ,10	
	{ Entretien, main-d'œuvre et fournitures. *	0 <sup>fr</sup> ,45 à 0 <sup>fr</sup> ,70	
	{ Divers. *	0 <sup>fr</sup> ,20 à 0 <sup>fr</sup> ,30	
Totaux.	1 <sup>fr</sup> ,75 à 2 <sup>fr</sup> ,25	2 <sup>fr</sup> ,25 à 2 <sup>fr</sup> ,85	2 <sup>fr</sup> ,25 à 2 <sup>fr</sup> ,85

*criblage et broyage* au besoin, sont compris entre 400 et 500 francs au plus par tonne de houille lavée par vingt-quatre heures.

**Carbonisation.** — On trouvera résumé dans le tableau ci-après extrait d'un mémoire de M. Pernolet sur la *Carbonisation de la houille*, les données les plus importantes relatives à l'installation, à la conduite des différents fours et aux frais qu'ils entraînent. (Voir pp. 14 à 17.)

Les *fours à boulanger* — n° 1 — sont des fours à sole circulaire pleine, recouverts d'une voûte sphérique ouverte au sommet, quelquefois surbaissée. Ils ont une seule porte : on décharge au *crochet* et à la *pelle*.

Les *fours belges* sont des fours rectangulaires allongés, complètement fermés, avec carneaux sous la sole et sur les côtés, avec portes aux deux extrémités, de manière à permettre le défournement mécanique par repoussoir mû à bras ou à vapeur. Parmi ces fours :

## du coke métallurgique.

BELGES		FOUR Appolt	FOURS POUR DISTILLATION EN VASE CLOS		
Fours Coppée et Rexroth	Fours du Creusot		Four Pauwels perfectionné	Four à boulanger transformé	Four belge transformé
1.000 à 1.100 fr. pour le four 125 à 155 fr. pour le matériel, sans broyeur ni atelier de lavage.	1.100 à 1.250 fr. sans atelier de broyage ni de lavage.	2.000 à 2.500 fr. avec l'atelier de lavage — par compartiment.	3.000 à 3.500 fr.	2.200 à 2.500 fr.	2.500 à 3.150 fr.
2 ou 3 ans		5 à 6 ans	Pas moins durables que les meilleurs fours belges.		
Frais analogues à ceux qu'entraîne le four Smet.	0 0 1 <sup>f</sup> ,40 0 <sup>f</sup> ,55	0 0 1 <sup>f</sup> ,10 à 1 <sup>f</sup> ,90 0 <sup>f</sup> ,20 à 0 <sup>f</sup> ,75	0 0 2 <sup>f</sup> ,10 à 2 <sup>f</sup> ,50 "	0 0 1 <sup>f</sup> ,90 0 <sup>f</sup> ,50 à 0 <sup>f</sup> ,70 0 <sup>f</sup> ,25	0 0 1 <sup>f</sup> ,65 à 2 <sup>f</sup> ,10 0 <sup>f</sup> ,45 à 0 <sup>f</sup> ,60 0 <sup>f</sup> ,50 à 0 <sup>f</sup> ,50 2 <sup>f</sup> ,60 à 3 <sup>f</sup> ,20
22 <sup>f</sup> ,25 à 2 <sup>f</sup> ,85	0 <sup>f</sup> ,25 1 <sup>f</sup> ,90		2 <sup>f</sup> ,50 à 3 <sup>f</sup> ,00	2 <sup>f</sup> ,65 à 2 <sup>f</sup> ,85	

Le *four Smet* — n° 2 — est le plus répandu. C'est le plus simple et le plus résistant.

Les *fours François, Dulait, Gobiet*, etc. — n° 3 — ne diffèrent des précédents que par leur plus grande largeur et la durée de la carbonisation qui a été doublée en vue d'obtenir des coques plus solides.

Les *fours Coppée* — n° 4 — sont, au contraire, des fours très étroits dans lesquels on a visé à augmenter autant que possible la surface de chauffe et la hauteur de la charge, en vue d'obtenir des coques très solides avec des charbons maigres ou amaigris.

Les *fours du Creusot* — n° 5 — sont des fours plus étroits et plus hauts encore, dans lesquels les carreaux verticaux du four Coppée sont remplacés par de grandes chambres de combustion.

Avec ces *fours belges*, quel qu'en soit le système, on utilise parfois la chaleur perdue des fours à produire de la vapeur : on peut, avec



des chaudières ainsi chauffées, obtenir un *poids d'eau vaporisée* à la pression de 4 1/2 atmosphères égal au poids de la houille distillée.

Le *four Appolt* — n° 6 — qui se compose de 18 *compartiments*, véritables cornues verticales en briques disposées dans un four rectangulaire, permet de carboniser rapidement des charbons maigres ou riches en gaz, mais peu collants. Ce four est le plus coûteux de premier établissement et d'entretien, et il semble que les fours belges étroits et hauts permettent de carboniser avec un rendement comparable les houilles maigres ou sèches et flambantes.

**Fours pour distillation en vase clos.** — Depuis une vingtaine d'années, on emploie avec succès des fours qui permettent de recueillir les produits condensables, dits *sous-produits*, que contiennent les gaz de la carbonisation. Les premiers fours de ce genre sont les fours Carvès, qui ont été construits pour la première fois en France (Bes-sèges). Les autres systèmes qui lui ont succédé ne sont que des modifications plus ou moins heureuses.

Les produits volatils sont dirigés dans des barillets et, de là, aspirés dans un appareil où se fait la condensation et l'épuration des sous-produits.

On retient de cette façon les goudrons et les eaux ammoniacales qui, à leur tour, peuvent donner la benzine, la naphthaline, etc. Les gaz ainsi épurés reviennent dans la chambre de combustion pour y être brûlés. Ici, on n'a plus d'intérêt à traiter les charbons riches en gaz.

Ce système peut s'appliquer aussi bien aux fours horizontaux qu'aux fours verticaux.

Les *fours pour distillation en vase clos*, dont le type primitif est le *four Pauwels* — n° 7 — sont des *fours à boulanger* avec carneaux sous la sole — n° 8 — ou des *fours belges* — n° 9 — que l'on a transformés de manière à pouvoir les fermer hermétiquement, et dans lesquels on ne ramène sous la sole et dans les carneaux, pour y être brûlés, les *produits de la distillation*, qu'après en avoir séparé par *condensation* le goudron et les eaux ammoniacales. Leurs *frais de premier établissement* sont légèrement supérieurs à ceux des fours belges, et les *frais de production* sont de 0 fr. 55 à 0 fr. 75 plus élevés, mais les *sous-produits* recueillis représentent une valeur minima de 3 francs par tonne de houille distillée, ce qui compense largement les dépenses faites.

L'*extinction* du coke à sa sortie des fours exige environ 0<sup>m</sup>,420 d'eau par mètre cube de coke.

Tous ces renseignements concernent des fours déjà démodés maintenant.

A titre de comparaison nous donnons dans le tableau ci-après quelques renseignements concernant la construction et l'exploitation de fours modernes et de batteries mises en exploitation il y a moins d'un an.

Largeur des fours.....	0 <sup>m</sup> ,35 à 0 <sup>m</sup> ,38
Hauteur des piédroits.....	3 <sup>m</sup> ,50 à 3 <sup>m</sup> ,40
Hauteur totale sous clef.....	3 <sup>m</sup> ,80 à 3 <sup>m</sup> ,80
Longueur.....	11 <sup>m</sup> ,60 à 12 <sup>m</sup> ,40
Poids de houille chargée par opération.....	12 t. à 16 t.
Durée moyenne de la carbonisation.....	16 h. à 18 h.
Gaz disponible par t. de houille..	
Prix moyen d'un four.....	200.000 à 250.000 fr. la £ étant à 150 fr.
Prix par 1.000 kg. carbonisés en 24 heures.....	11.000 à 12.000 fr.
Frais d'exploitation.....	
Carbonisation et broyage amortissement compris.....	15 à 25 fr.
Récupération des sous-produits...	12 à 15 fr.

Les points primordiaux à noter sont :

1° L'augmentation du tonnage unitaire des fours passé de 4 à 10 et 15 tonnes.

2° La réduction de la largeur des fours descendue à 0<sup>m</sup>,33 pour certains types de fours américains à grande production et à marche extra rapide.

3° L'emploi des briques de silice pour les parois. La conductibilité plus grande de ces produits réfractaires aide à réduire le temps de carbonisation tout en donnant un rendement calorifique meilleur. Le nombre de calories nécessaires pour la carbonisation d'une tonne de houille peut ainsi descendre à 540.000, tout en laissant jusqu'à 55 et près de 60 0/0 du gaz disponible pour des utilisations extérieures à la batterie.

4° L'utilisation au chauffage des fours à coke du gaz pauvre en totalité ou en partie pour économiser le gaz riche employé à des chauffages plus rémunérateurs (four Martin, force motrice au gaz, industrie chimique, usages domestiques).

L'emploi de gaz pauvre nécessite dans certains cas le réchauffage préalable de l'air et du gaz, d'où quatre chambres par four de carbonisation.

6° La recherche de la régularité de chauffe par la répartition homogène des points de combustion pour le chauffage des carneaux et la circulation des fumées.

7° L'inversion automatique du sens de marche des gaz et fumées par un système mécanique électrique ou à vapeur commandé à heure fixe par un servo-moteur dépendant d'une pendule.

8° L'extinction automatique du coke, en vue de la réduction de la main-d'œuvre d'une part et de l'obtention d'un coke contenant le

minimum d'eau d'autre part (2 0/0 d'eau environ au lieu de 6 à 8 ou au delà par l'extinction à la main).

9° Le développement des appareils de régulation et de contrôle automatique. On mesure et règle ainsi, les pressions du gaz, de l'air, des fumées, les dépressions, débits de gaz brut et épuré, les puissances calorifiques des gaz, etc.

**Agglomération des houilles.** — Lorsque la nature des houilles ne permet pas d'utiliser les menus en les carbonisant, on en fait des *agglomérés*, en les moulant sous de fortes pressions, après les avoir broyés et intimement mêlés à une matière agglutinante qui, le plus généralement, est le *brai gras* ou le *brai sec* : c'est ce dernier qui devra être préféré toutes les fois que l'on veut obtenir des *agglomérés* solides, brûlant avec peu d'odeur et de fumée.

On trouvera réunies dans le tableau de la page 22 quelques données intéressantes sur les principales machines employées à la fabrication des agglomérés.

Lorsqu'on fait usage de *brai sec*, le mélange doit être assez fortement chauffé pour posséder une température d'au moins 80° en arrivant dans les appareils de moulage.

Les *frais de fabrication* des agglomérés varient peu avec les appareils employés : ils varient, suivant les usines, de 1 fr. 80 à 2 fr. 50 par tonne d'agglomérés, non compris la dépense de ciment, qui varie de 4 fr. 20 à 6 francs par tonne, suivant la proportion employée et le prix de la matière.

### Préparation mécanique de la houille.

Le plus généralement, la houille n'est envoyée aux ateliers de *carbonisation* ou d'*agglomération* qu'après avoir subi une *préparation mécanique* d'autant plus soignée qu'on traite une houille plus impure et qu'on veut obtenir un produit de qualité supérieure. (Voir dans l'Agenda Dunod « Mines », le chapitre : *Préparation mécanique des minerais et des charbons.*)

Dans les charbonnages du Nord et du Pas-de-Calais le lavage s'est accru dans de très fortes proportions jusqu'en 1910.

Parallèlement à l'extension du lavage se sont développées les *industries du coke et des agglomérés*.

Nous allons examiner plus spécialement la production du coke qui est à la base de la métallurgie.

**Production de coke.** — Le tableau ci-après résume le développement de cette industrie dans les principaux pays, depuis 1900 :

## Production de coke métallurgique (en millions de tonnes).

	1900	1905	1910	1911	1912	1913
Etats-Unis.....	18,6	29,2	37,8	32,3	32,9	42,0
Allemagne.....	"	16,5	23,6	25,4	29,1	32,1
Angleterre.....	"	17,7	19,3	19,3	18,6	20,9
France.....	2,3	2,3	2,7	3,5	3,7	4,0
Belgique.....	2,5	2,2	3,1	3,2	3,2	3,5

Nous donnons à cet égard la répartition des fours en activité par groupes, ainsi que la production de coke correspondante en 1913, 1920, 1922, 1923 et 1924.

La production française de coke métallurgique en 1927 a été de 4.068.200 tonnes dont 3.208.000 tonnes ont été fournies par le Nord et le Pas-de-Calais.

La production française de coke métallurgique en 1928 a été de 4.399.932 tonnes.



GROUPES	1913		1920		1922		1923		1924	
	COKE produit		COKE produit	FOURS en activité	COKE produit	FOURS en activité	COKE produit	FOURS en activité	COKE produit	FOURS en activité
Gard.....				28	8.116	28	6.750	28		
Nord et Pas-de- Calais.....	3.078.328		511.732	570	544.526	570	1.366.295	862	1.943.692	837
Loire ..	179.987		280.470	134	365.271	134	410.132	134	412.138	165
Tarn, Aveyron.				187	127.941	187	161.565	187	103.034	166
Ronchamp.....				28	16.456	28	16.139	28	17.151	28
Calvados.....			174.000	126		126		126		
Loire-Inférieure			90.985	114		114		114		
Moselle.....			119.294	70		70	101.234	70	125.478	70
TOTAUX.....	3.258.315			1.123	2.897	1.257		1.521	2.601.493	1.266

**Production houillère de la France 1913-1928.**

Le tableau ci-dessous, qui donne les chiffres de la production houillère de la France, avant et après guerre, présente un intérêt tout particulier. Il a été établi par le Comité des Houillères qui nous l'a obligeamment communiqué.

On y constate que la production de 1913 a été atteinte et même dépassée en 1917 et 1918 par les Mines Françaises non sinistrées du Nord et du Pas-de-Calais et par les autres mines non sinistrées du territoire.

En 1927, la production houillère de la France a été de 52.846.698 tonnes, soit 12.003.480 tonnes de plus qu'en 1913. Dans ce total, les mines du Nord et du Pas-de-Calais ont extrait 33.228.000 tonnes.

En 1928, la production houillère de la France a été de 52.429.468 tonnes.

ANNÉES	PRODUCTION		NORD ET PAS-DE-CALAIS				LORRAINE	0/0 de 1913	AUTRES BASSINS français	0/0 de 1913
	France entière	0/0 de 1913	Mines sinistrées	Autres mines		0/0 de 1913				
				0/0 de 1913	Autres mines					
1913.....	40.844.218	100	20.282.016	100	7.107.261	100	3.796.000	13.454.911	100	
1914.....	27.528.109	67,5		15.538.867			2.857.000	11.989.242	89	
1915.....	19.532.932	47,7			7.382.292	116	1.961.000	12.150.640	90,5	
1916.....	21.310.073	52			8.195.025	129	2.028.000	13.115.048	97,5	
1917.....	28.915.407	71			11.450.463	161	2.637.000	17.464.944	130	
1918.....	26.259.083	64,5			7.926.903	125	2.662.000	18.332.181	136	
1919 (1).....	22.441.381	49,2	1.539.336 (2)	7,7	6.344.192	89,5	2.510.000	12.047.853	89,8	
1920.....	25.261.058	56	3.603.609	17,8	6.107.450	86,5	3.205.000	12.916.059	96,5	
1921.....	28.960.473	64,5	6.518.896	32,2	7.110.342	112	3.621.928	11.709.307	87	
1922.....	32.581.790	72,5	9.441.538	46,5	5.938.423	84	4.232.400	12.969.429	96,6	
1923.....	38.543.670	86,5	13.616.466	67	7.279.519	114,5	4.165.725	13.481.960	101	

(1) A partir de 1919, la production totale comprend celle de la Lorraine.

(2) A partir de 1919, les mines sinistrées comprennent les compagnies de Béthune et Vendin.

## EMPLOI DES COMBUSTIBLES

**Agent oxydant.** — *L'agent oxydant ou comburant*, dans les foyers métallurgiques, est l'air atmosphérique.

L'air pur et sec est formé de :

23,10 0/0 d'*oxygène* en poids et 76,90 0/0 d'*azote*, ce qui donne pour le rapport de l'azote à l'oxygène, 3,33 à 1. Il contient, en outre, 0,0003 à 0,0006 d'*acide carbonique* et de la *vapeur d'eau* en proportion variable. Son action oxydante est d'autant plus énergique que la pression est plus considérable.

Le poids du *mètre cube* d'air à la pression ordinaire est de 1<sup>kg</sup>,300, soit 0,0013 du poids de l'eau.

Le *volume d'air* nécessaire pour brûler un kilogramme de combustible, volume mesuré à 0° et sous la pression de 0<sup>m</sup>,760, est de :

3 <sup>m</sup> c,466	pour le bois séché à l'air, la combustion donne	8 <sup>m</sup> c,826	} De gaz mesurés à 300° à la pression de (0 <sup>m</sup> ,760.
4 074	— la tourbe séchée à l'air, — —	8 998	
4 123	— le lignite ligneux, — —	9 990	
4 884	— le lignite terreux, — —	11 448	
7 782	— la houille, — —	17 241	
8 491	— l'anthracite, — —	18 371	
8 441	— le coke, — —	16 898	
7 016	— le charbon de bois, — —	17 709	

## De la combustion.

Des combustibles solides se divisent, lors de leur utilisation, en deux produits distincts : d'une part, les *cendres*, qui restent sur la grille ; d'autre part, la *partie volatile*, qui est seule utilisée. L'emploi judicieux des combustibles revient donc à réaliser, dans les meilleures conditions possibles, la *combustion des gaz*.

**Combustion des gaz.** — Pour brûler les gaz combustibles, il faut réaliser deux conditions essentielles : 1° les *mélanger* avec l'air, agent oxydant ; 2° porter le mélange à une température suffisante pour qu'il s'enflamme. Cette température doit être *assez élevée*, vu que les gaz provenant de la gazéification des combustibles solides sont toujours mélangés d'une forte proportion de *gaz inertes*.

Le courant gazeux peut, d'ailleurs, être *oxydant* ou *réducteur*. Pour assurer une combustion complète, le courant doit être oxydant et même présenter un excès d'air. On peut le rendre réducteur en laissant subsister un excès de gaz non brûlé, mais on diminue considérablement l'effet thermométrique. On doit donc toujours, sauf pour des buts spéciaux, se mettre dans le premier cas.

La combustion est d'autant plus parfaite que l'air et les gaz sont mélangés plus intimement.



La *pression* de l'air joue aussi un rôle prépondérant dans la combustion. Une *faible pression* donne une combustion à *longue flamme*. Si on force, au contraire, la pression du courant d'air, on *diminue* la longueur de la flamme et on *augmente* la capacité calorifique dans l'enceinte où se produit la combustion.

Tous ces dispositifs ne donnent pas une chaleur suffisante pour atteindre les températures nécessaires aux appareils métallurgiques. Si on veut obtenir des effets considérables, il faut *chauffer* le gaz et l'air avant de les mélanger et de les amener en contact. On obtient alors une combustion immédiate et, par suite, une température d'autant plus élevée que le point de combustion sera plus *restreint*.

Ce chauffage préalable des gaz s'obtient économiquement par la *récupération*, c'est-à-dire en faisant cheminer l'air en sens inverse des gaz brûlés, sans néanmoins le mélanger avec eux, de manière à dépouiller ces derniers de leur chaleur et à les évacuer aussi froids que possible, tandis que l'air chauffé par cet échange vient se mélanger aux gaz combustibles et les brûler.

Les appareils qui réalisent ces conditions portent le nom de *gazogènes* ou *générateurs à gaz*. Ils peuvent s'appliquer à tous les besoins métallurgiques, mais leur coût élevé les fait réserver en général pour les opérations qui nécessitent une grande chaleur. Ils peuvent brûler des combustibles maigres, du coke et même de l'anthracite. Il est nécessaire, dans ce dernier cas, d'adopter des dispositifs permettant de *refroidir* les parties métalliques des générateurs pour éviter leur détérioration rapide.

Les gazogènes peuvent être à *tirage naturel*, *restreint* ou *soufflés*. Dans l'un et l'autre cas, il convient d'ajouter, en même temps que l'air, une certaine proportion d'eau ou de vapeur d'eau, dont la dissociation introduit dans le gaz une certaine quantité d'*hydrogène*, résultat précieux, vu la chaleur que dégage la combustion de ce corps (Voir p. 127). Tels sont les gazogènes *Dawson*, *Buire*, *Lencachez*, *Siderofours*, etc.

Un bon gaz de gazogène doit donner au minimum 1.300 calories au mètre cube. Les grilles, généralement à gradins, des gazogènes doivent être constamment couvertes d'une *épaisse couche* de combustible, afin de permettre la transformation complète de l'acide carbonique formé dans le voisinage de la grille en oxyde de carbone. Un bon gaz de gazogène (gaz à l'eau) doit contenir :

		Type Siderofours
CO.....	20 à 18 0/100	25 à 30
H.....	17 à 18 —	10 à 15
CO <sup>2</sup> .....	3 à 4 —	1 à 2
Az.....	60 à 60 —	— —

Dans les *appareils de gazéification modernes*, on tend de plus en plus à employer les gazogènes-cuves sans grille, à soufflage central, fermeture hydraulique et décrassage automatique (et parfois même à chargement continu). Comme types d'installations réunissant tous ces perfectionnements, on citait les gazogènes Morgan de l'aciérie Martin de la Providence, à Hautmont, et les gazogènes-cuves de l'aciérie Martin de Denain.

On peut citer aussi le gazogène type Sidérofours dont un groupe fonctionnant avec du charbon de la Sarre aux Aciéries de Pompey donne des résultats remarquables

( $\text{CO}_2=1,5$   $\text{O}=0$   $\text{CO}=31$   $\text{CH}_4=2,5$   $\text{H}_2=4,5$  puiss. cal. sup. à 1.500 cal.

Les anciens gazogènes Siemens sont encore employés dans beaucoup d'usines ; d'autres aciéries restent attachées au gazogène Lencauchez à poitrine avec ou sans barrage transversal pour la destruction des goudrons par traversée du coke incandescent. Tous ces gazogènes disposent d'ailleurs habituellement de houilles grasses à longue flamme, riches en matières volatiles (36 0/0 à Denain) et de gazéification aisée ; les pressions de soufflage ne dépassent pas quelques centimètres d'eau, et la vapeur n'est mélangée au vent qu'en proportion assez faible, plutôt encore dans le but d'empêcher le collage que d'augmenter le pouvoir calorifique du gaz. Suivant la nature des houilles et les conditions de marche du gazogène, le pouvoir calorifique au mètre cube varie de 1.300 à 1.500 calories.

**Chauffage sur grille.** — Le chauffage sur grille part d'un principe différent. Le combustible doit être répandu en *couche mince* et régulière, de manière à éviter le plus possible la formation de l'oxyde de carbone. Il ne doit pas y avoir non plus de parties vides, de trous, sur la grille, ce qui donnerait passage à un excès d'air froid qui viendrait abaisser la température des gaz brûlés.

On peut alimenter les foyers à grille avec de l'*air chaud*, mais il faut alors *refroidir artificiellement* les barreaux.

**Fumivorté.** — La fumée dégagée par un foyer est l'indice d'une *combustion incomplète*. On y remédie en introduisant de l'air froid ou mieux de l'air chaud au-dessus de la grille, au point où se forme la fumée causée par une introduction insuffisante d'oxygène. Le charbon gras, qui distille facilement, donne beaucoup de fumée, et la chaleur nécessaire à cette distillation, si la combustion de la fumée ne vient pas la restituer au foyer, est perdue pour l'utilisation du combustible.

**Densité du combustible.** — Les produits de la combustion ne sont, d'ailleurs, pas les seuls qui absorbent de la chaleur. Nous avons d'abord les *parois* du four ou foyer ; ensuite le combustible lui-même s'échauffe graduellement. Plus un combustible restera de temps dans le foyer avant d'être utilisé, plus il s'échauffera, et plus un combus-

tible sera *dense*, plus *haute* sera la température thermométrique de la combustion.

Il faut toujours donner peu de profondeur aux foyers qui brûlent par *aspiration*, ce qui est le cas général. L'inconvénient est moindre quand on chauffe par *insufflation*. Ce dernier mode est d'ailleurs préférable à l'aspiration, au point de vue de la *combustion des menus*.

### Emploi du bois comme combustible industriel.

Le prix élevé et le manque de houille, pendant une certaine période, à la suite de la guerre, ont conduit à l'utilisation du bois pour remplacer la houille,

Actuellement, ce remplacement n'est plus indiqué, mais on peut retenir toutefois que le bois peut être utilisé aussi bien pour le chauffage des chaudières que pour la fabrication de l'acier Martin dans des gazogènes.

Alors que l'utilisation de houille dans les gazogènes conduit à une consommation de 250 à 350 kilogrammes par tonne d'acier, le remplacement de la houille par du bois a conduit à une consommation de 400 à 500 kilogrammes de bois par tonne d'acier, suivant les essences.

L'inconvénient qui en résulte est une augmentation de la durée des opérations, due à la réduction de la puissance calorifique du gaz obtenu.

En résumé, 2.100 kilogrammes de bois remplacent à peu près exactement une tonne de houille à 7.000 calories.

### Combustibles liquides.

L'emploi du pétrole ou, mieux, de l'huile brute de naphte ou des résidus de la distillation du pétrole (mazout) prend de jour en jour plus d'importance dans les pays où ces matières peuvent arriver à prix réduit, soit par la proximité des lieux producteurs, soit par l'absence de droits d'entrée. C'est malheureusement à la barrière douanière dressée jusqu'ici contre leur importation en France, — comme nous l'avons dit, — (90 francs par tonne avant la guerre), que nous devons d'être privés de ces intéressants combustibles possédant sur la houille des avantages nombreux :

Ils ne donnent pas de cendres. Ils sont faciles à manier, très faciles aussi à distribuer au moyen d'un robinet de réglage. Enfin et surtout, ils donnent, à poids égal, beaucoup plus de chaleur que la houille.

On peut admettre que le pouvoir calorifique utilisable du mazout



est, en comparaison de celui d'une bonne houille vaporisant 8 kilogrammes d'eau dans une chaudière ordinaire, dans le rapport de 7 à 4.

La distribution se fait au moyen de pulvérisateurs à vapeur et non pas à air, le mazout est injecté à l'état pulvérulent dans la chauffe. On doit disposer les conduits de façon à ménager de nombreuses chicanes aux gaz brûlés afin de les mieux dépouiller de leur chaleur.

Des essais récents ont en effet démontré que des brûleurs appropriés disposés avec récupération d'air donnent des résultats économiques comparables à ceux de l'utilisation de la houille si l'on tient compte de la réduction des frais de transport et de manutention du combustible et des cendres et de la marche discontinue pour certaines applications.

La conséquence est l'emploi de plus en plus fréquent de ces huiles pour le chauffage des fours de forge des ateliers d'entretien, des fours d'estampage, des fours à rivets, des fours de fusions d'alliages pour les petites fonderies, des fours à creusets, etc., — et en général de tous appareils devant être prêts très rapidement et ne fonctionner qu'une façon intermittente.

Plusieurs constructeurs français se sont spécialisés dans l'étude de ces appareils, notamment les fours Rousseau, la Société Sidéro-fours, air et feu, etc...

### Chauffage au charbon pulvérisé.

La grande pénurie de charbon résultant de la destruction de nos charbonnages du Nord impose à l'industrie française la plus stricte économie de combustible. Parmi les moyens divers tendant à cette fin, il convient de signaler le chauffage au charbon pulvérisé.

L'idée n'en est pas nouvelle, — elle remonterait à 1818, — mais son utilisation pratique date d'une dizaine d'années aux États-Unis. Les premières applications faites dans les fours à ciment furent à ce point encourageantes que les installations actuelles faites en ce pays, dans tous les genres d'industries, consomment annuellement plus de douze millions de tonnes de houille sous cette forme.

Depuis le début de 1920, le développement de l'emploi du charbon pulvérisé en Amérique paraît d'ailleurs s'accélérer de façon très rapide, surtout en ce qui concerne les chaudières.

Les avantages du charbon pulvérisé sont nombreux : manutentions faciles, suppression des pertes par les grilles, utilisation complète des menus, poussières et combustibles inférieurs; arrêt immédiat de la dépense du combustible quand le travail cesse, exactement comme avec les brûleurs à gaz ou à huiles lourdes; réglage facile; mise en marche presque instantanée; fumivortité absolue; propreté des ateliers.

Deux procédés d'alimentation des foyers :



1° Par vis sans fin, avec entraînement par un courant d'air assurant la combustion ;

2° Par éjecteur, projetant le charbon en nuage.

On compte, dans une grande centrale, une dépense de 20 chevaux par tonne pour la pulvérisation du charbon ; la puissance nécessaire au transport du combustible aux foyers est insignifiante, le charbon pulvérisé coulant presque aussi facilement qu'un liquide.

Aux États-Unis, on a constaté, pour le chauffage des chaudières, des économies atteignant jusqu'à 60 0/0 sur le prix du chauffage aux huiles lourdes. Pour le chauffage des locomotives, on a reconnu de gros avantages au charbon pulvérisé :

L'économie constatée est de 15 à 25 0/0 par rapport au charbon de même pouvoir calorifique chargé à la main sur grille. Même à la teneur de 10 0/0 en soufre et 35 0/0 en cendres, le charbon pulvérisé permet de maintenir les locomotives à pleine pression, d'où possibilité d'emploi de refus, donc économie d'argent. Enfin, il facilite le recrutement comme chauffeurs et apprentis mécaniciens d'ouvriers intelligents que rebutait la rude besogne de chauffeurs à la pelle.

Quant aux résultats obtenus dans les fours métallurgiques, il est plus difficile de les chiffrer. C'est une question d'espèce.

Ce procédé de chauffage est en effet brutal et non justifié pour les produits délicats, tels que les aciers durs, aciers à ressorts, aciers spéciaux en général qui demandent un chauffage progressif et prudent.

Les variations de nature du charbon se répercutent immédiatement sur la nature de la flamme et nuisent au réglage. Ces variations pouvant provenir soit de la variation de teneur en matières volatiles ou en cendres du charbon utilisé.

Dans tous les cas, le charbon utilisé doit être finement broyé et bien sec.

1° *Finesse de la poussière* : 95 0/0 doivent traverser le tamis n° 100 et 82 0/0 le tamis n° 200 (6.200 mailles par centimètre carré).

2° *Parfaite siccité de la poussière*. — Si l'humidité de la matière dépasse 0,75 0/0, celle-ci n'arrive au brûleur que par petits paquets, de sorte que la combustion se fait mal.

**Conclusion.** — Toutefois il est bon de noter que, dans l'emploi du charbon pulvérisé, le minimum de consommation de charbon par tonne de métal chauffé n'est jamais descendu, en valeur absolue, au-dessous des chiffres limites qu'on peut obtenir avec des fours perfectionnés munis de régénérateurs pour l'air et le gaz et utilisant le charbon dans des gazogènes accolés ou séparés.

Le charbon pulvérisé à égalité de consommation en valeur absolue a comme avantage une mise en route plus facile et plus rapide et l'utilisation de charbons de qualité moindre.

Les essais en cours dans de grosses usines métallurgiques fran-

caises permettront de déterminer à bref délai le classement de ce mode de chauffage par rapport à ceux existants, au point de vue des fours pour la sidérurgie.

D'ores et déjà on peut cependant affirmer qu'il se développera surtout pour le chauffage des chaudières où la température de la flamme ou du foyer n'intervient pas directement et sert de volant à la production des calories. La consommation de charbon y peut donc être proportionnelle à la production de vapeur, d'où son succès.

En sidérurgie ce sera plus délicat et on n'en voit le développement que pour le chauffage des produits courants (acières Thomas par exemple) et en des points du territoire où on peut obtenir des charbons à composition physique mauvaise (menus) à bas prix, mais à teneur sensiblement constante.

## MATÉRIAUX D'ADDITION

### Agents réducteurs.

Les *agents réducteurs* auxquels on a recours dans les usines se composent surtout de carbone et d'hydrogène, provenant des combustibles végétaux ou minéraux, agissant soit par contact direct, soit par les gaz obtenus en les distillant ou les décomposant en leurs éléments, carbures, oxydate, carbone, hydrogène, etc.

### Fondants.

La nature des *fondants* varie avec celles des *gangues* : les plus fréquentes sont *oxydées*, siliceuses ou basiques.

Le but à atteindre dans le choix des fondants sera la préparation d'un mélange fusible de *silice* et de *bases* : le plus fusible donnera lieu à la moindre consommation de combustible, mais la conservation des fourneaux, la pureté du métal ou d'autres motifs réclament plutôt des silicates dont la fusibilité se trouve atténuée tantôt par un excès de silice, tantôt par un excès de base.

Les *laitiers ordinaires* se composent de *silicates doubles* de chaux et d'alumine, ou de *silicates triples* de chaux, de magnésie et d'alumine, dans lesquels le rapport de l'oxygène de la silice à celui des bases varie entre 1 et 2. A ces bases principales s'ajoutent de faibles doses de potasse et de soude, d'oxyde de fer et d'oxyde de manganèse, etc., qui augmentent la fusibilité.

Les *scories* sont des silicates à bases métalliques obtenus dans les traitements métallurgiques.

On réserve, en général le nom de *laitiers* aux matières provenant

de la fusion pour fonte dure, et de scories à celles du traitement des autres métaux.

Les *silicates multiples* sont toujours plus fusibles que les *silicates simples*.

#### CALCUL D'UN LAITIER OU D'UNE SCORIE

**Qualité des fondants.** — Nous supposons que les fondants n'apportent aucun élément nuisible tel que soufre ou phosphore. Ce point est essentiel dans la fabrication de la fonte, et les calcaires sont fréquemment accompagnés de phosphate de chaux. Dans la fusion pour matte au cubilot, on peut, à la rigueur, être moins exigeant comme qualité des fondants.

Nous admettons que le choix de fondant le plus avantageux comme pureté et comme prix soit fait et que son analyse, ainsi que celle du minerai et du combustible, soit connue.

Voici trois tableaux, calculés par M. Langdon, au moyen desquels les calculs qui se présentent le plus fréquemment pour la détermination d'un lit de fusion peuvent être faits rapidement.

TABLEAU A. — Constantes pour diverses teneurs en silice dans les scories et laitiers.

TENEUR en silice	CONSTANTE	TENEUR en silice	CONSTANTE
30	2,33	41,7	1,40
32	2,13	42	1,38
33,5	2	42,9	1,33
34	1,94	44	1,27
35	1,86	45	1,22
36	1,78	46	1,17
37	1,70	47	1,13
37,5	1,67	48	1,08
38	1,63	48,8	1,05
40	1,50	50	1,00

PREMIER CAS. — Déterminer la quantité de calcaire ou de fondant basique à ajouter pour obtenir une scorie ou un laitier ayant une teneur déterminée en silice.

*Exemple.* — Soit à fondre des minerais de fer avec du coke et du calcaire ayant les analyses suivantes :  
 IRIS LILLIAD, Université Lille 1



	COKE	MINÉRAI DE FER			CAL- CAIRE
		n° 1	n° 2	n° 3	
Fer.....	2,60	50	63	6,0	1
Ph.....	0,023	0,022	0,056	0,75	0,008
S.....	0,67	"	"	"	"
SiO <sub>2</sub> .....	7	25	6	7	5,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	2,60	4	3	2	3,50
CaO.....	0,50	1,98	2,50	5	31,58
MgO.....	"	"	1,51	1	16

On fond:  $\frac{1}{4}$  de minéral n° 1;  $\frac{1}{2}$  de minéral n° 2;  $\frac{1}{4}$  de minéral n° 3.

On veut obtenir un laitier à 33,5 0/0 de silice.

## CALCAIRE

	SiO <sub>2</sub> .	Bases
Teneur du calcaire en.....	5,50	51,08
Constante pour laitier à 33,5 0/0 (Tableau A).....	2	
	<u>11,00</u>	ci <u>11,00</u>
Base disponible dans le calcaire.....		40,08

## COKE

	SiO <sub>2</sub> .	Bases
Teneur du coke en.....	7,00	3,01
Constante pour laitier à 33,5 0/0.....	2	
	<u>11,00</u>	
A déduire, bases contenues.....	3,10	
Base nécessaire.....	10,90	

$\frac{10,90}{40,08} \times 100 = 27,2$  0/0 du poids du coke à ajouter sous forme de calcaire pour scorifier les cendres.

## MÉLANGE

	SiO <sub>2</sub> .	Bases.
Teneur du mélange de minéral en.....	11,00	7,00
Constante pour scorie à 33,5 0/0.....	2	
	<u>22,00</u>	
A déduire les bases contenues.....	7,00	
Base nécessaire.....	15,00	





TABLEAU B. — Types de laitiers.

NUMÉROS	DÉNOMINATION	FORMULES	RAPPORT DE oxygène-base oxygène-silice	FUSIBILITÉ	NATURE de la fonte
1	$\begin{pmatrix} 4 \\ 1 \end{pmatrix}$ Silicate.....	MO M <sup>2</sup> O M <sup>2</sup> O <sub>3</sub>	$\frac{1}{4}$	Fusible.	Grise foncée.
2	$\begin{pmatrix} 3 \\ 1 \end{pmatrix}$ Trisilicate.....	2MO 2M <sup>2</sup> O 2M <sup>2</sup> O <sub>3</sub>	$\frac{1}{3}$	Assez fusible.	Grise clair ou truitée.
3	$\begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}$ Bisilicate.....	MO M <sup>2</sup> O M <sup>2</sup> O <sub>3</sub>	$\frac{1}{2}$	Très fusible.	Blanche ou truitée.
4	$\begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix}$ Sesquisilicate.....	4MO 4M <sup>2</sup> O 4M <sup>2</sup> O <sub>3</sub>	$\frac{2}{3}$	Bien fusible.	Truitée.
5	$\begin{pmatrix} 4 \\ 3 \end{pmatrix}$ Sesquisilicate basique.....	3MO M <sup>2</sup> O 3M <sup>2</sup> O <sub>3</sub>	$\frac{3}{2}$	Facilement fusible.	Blanche légère- ment truitée.
6	$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ Singulosilicate.....	2MO 2M <sup>2</sup> O 2M <sup>2</sup> O <sub>3</sub>	1	Fusible	Grise très foncée.
7	$\begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix}$ Subsilicate.....	8MO 8M <sup>2</sup> O 8M <sup>2</sup> O <sub>3</sub>	$\frac{1}{3}$		Grise foncée.
8	$\begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix}$ Subsilicate.....	3MO 3M <sup>2</sup> O M <sup>2</sup> O <sub>3</sub>	$\frac{1}{2}$	"	Très foncée.
9	$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$ Subsilicate.....	4MO 4M <sup>2</sup> O 4M <sup>2</sup> O <sub>3</sub>	2	"	Très foncée.

DEUXIÈME CAS. — Déterminer la quantité de calcaire à ajouter pour obtenir un laitier ayant un rapport  $\frac{\text{oxygène-base}}{\text{oxygène SiO}_2}$  déterminé.

Reprenant les données ci-dessus, cherchons la quantité de calcaire à ajouter pour obtenir une scorie du type n° 3 du tableau B, c'est-à-dire un bisilicate.

## CALCAIRE

Constante du		0/0
tableau C.		
Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> ...	$3,50 \times 0,874 = 3,06$ }	$31,99 \times 2 = 63,98$
CaO....	$31,58 \times 0,536 = 16,93$ }	
MgO...	$16,00 \times 0,750 = 12,00$ }	
SiO <sup>2</sup> ...	5,50.....	5,50
Quantité 0/0 de silice que les bases disponibles dans		
le calcaire peuvent fondre.....		58,48

## MINÉRAI

Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> ...	$3,00 \times 0,874 = 2,622$ }	$4,98 \times 2 = 9,96$
CaO....	$3,00 \times 0,539 = 1,608$ }	
MgO...	$1,00 \times 0,750 = 0,750$ }	
SiO <sup>2</sup> ...	$11,00 - 9,96 = 1,04$	
$1,04 \times \frac{100}{58,48} = 1,78$ 0/0.		

quantité de calcaire nécessaire pour fondre le minerai.

## COKE

Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....	$2,6 \times 0,894 = 2,27$ }	$2,54 \times 2 = 5,08$
CaO.....	$0,5 \times 0,536 = 0,27$ }	
SiO <sup>2</sup> .....	$7,0 - 5,08 = 1,92$	
$1,92 \times \frac{100}{58,48} = 3,28$ 0/0.		

quantité de calcaire nécessaire pour fondre les cendres du coke.

Le tableau C permet aussi de déterminer rapidement la formule d'une scorie ou d'un laitier de composition centésimale donnée,

*Exemple.* — A quel type de laitier appartient la composition suivante :

SiO <sup>2</sup> .....		58,42
Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....		16,10
CaO.....		18,74
MgO.....		6,74
		100,00

$16,10 \times 0,874 = 14,07$ }		
$18,74 \times 0,536 = 10,04$ }		
$6,74 \times 0,750 = 5,05$ }		
$29,16 \times \frac{100}{58,42} = 0,5$ .		

Le laitier est un bisilicate.

## MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES

Les matériaux réfractaires naturels sont :

Le *quartz* et la *silice* : choisir les moins ferrugineux, les moins mêlés de substances étrangères ;

La *bauxite*, alumine hydratée mêlée de peroxyde de fer ;

Le *graphite* ou *plombagine*, variété de carbone cristallisé en paillettes et en lamelles ;

La *chaux*, la *magnésie* et la *dolomie* (carbonate double de chaux et de magnésie) ;

Le *minerai de chrome* ou *chromite* qu'on utilise soit en blocs, soit en poudre mélangée avec du goudron, sous forme de pisé pour tous les points vulnérables du four Martin (nez des brûleurs par exemple) ;

Les *argiles réfractaires*, constituées par des silicates de chaux et d'alumine très pauvres en fer ;

Les *grès*, lorsque le ciment est siliceux.

## MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES ARTIFICIELS

**Briques d'argile réfractaires.** — On recherche dans ces matériaux artificiels, d'abord l'infusibilité, ensuite la solidité à chaud pour résister aux fortes pressions, un faible coefficient de dilatation et enfin un prix de revient économique.

Les argiles réfractaires  $2\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ont un point de fusion de 1.830° environ, mais qui peut varier suivant les proportions d'alumine et de silice.

L'oxyde de fer (fusion à 1.000°) et le mica (1.100°) augmentent rapidement la fusibilité.

Les argiles à grès composées de 2/3 d'argile et 1/3 de mica fondent à 1.300°. C'est un produit médiocre.

Les argiles impures contenant du calcaire et des oxydes de fer se démolissent à 1.100°.

**Retrait.** — Les argiles réfractaires pures, ainsi que les bauxites, perdent leur eau vers 600°, puis se contractent jusqu'à leur point de fusion. Le maximum de retrait se produit à 1.400° et la fusion à 1.800°.

On combat ce défaut soit en ajoutant à l'argile une certaine proportion de vieux matériaux réfractaires ayant déjà subi le retrait, soit en ajoutant du sable siliceux qui se dilate par l'action de la chaleur, mais on perd alors une partie des qualités réfractaires.

**Dilatation.** — Dans ces conditions, on peut admettre pour les matériaux réfractaires un coefficient de dilatation de 0,5 0/0 à 1.000°. Un four de 20 mètres de haut à froid se dilate de 10 centimètres en hauteur une fois mis en marche.



*Propriétés mécaniques.* — Les briques réfractaires de bonne qualité doivent résister à 150 ou 200 kilogrammes par centimètre carré à l'écrasement.

**Bauxite.** — La bauxite pure  $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$  renferme toujours un peu d'oxyde de fer, même quand elle est blanche, et aussi un peu d'argile. A l'état naturel, elle prend, quand on la chauffe, un retrait énorme qui la rend poreuse.

Elle est moins attaquée par les bases que l'argile.

On peut en faire, après cuisson et broyage, de bons garnissages basiques en l'agglomérant avec du goudron.

Fondue à l'arc électrique, elle donne le *corindon artificiel*, qui n'est plus sujet au retrait ni à la porosité. Pour cet emploi, le fer ne gêne pas, car il est réduit à l'état de siliciure de fer.

**Briques de silice** (*briques Dinas*, nom du lieu où elles ont été fabriquées pour la première fois en Angleterre). — Ces briques furent créées en vue de la construction des fours Siemens. On les agglomère de diverses façons : soit en y ajoutant un peu de chaux (3 0/0), soit en les comprimant fortement et en cuisant ensuite à haute température pour leur donner une cohésion suffisante.

La silice se présente sous trois formes ou variétés différentes : le *quartz* (densité 2,65), la *calcédoine* ( $D = 2,58$ ) et la *tridymite* ( $D = 2,3$ ). On a constaté que les variétés les plus stables à chaud étaient celles qui possédaient la densité la plus faible. Quand on chauffe ces diverses variétés, elles se transforment toutes en tridymite. Ce changement se produit à 1.400° pour le quartz et à 1.600° pour les autres variétés.

Les briques uniquement composées de quartz ne doivent s'employer que dans les fours à feu continu ; les alternatives de chauffage et de refroidissement seraient funestes pour la solidité des voûtes.

**Matières réfractaires basiques.** — Ces matières ont pris une grande importance depuis que le traitement des minerais de fer par le procédé Thomas Gilchrist a pris le développement que l'on sait.

Les premiers essais de garnissages basiques furent faits par Sir Lowthian Bell avec de la chaux. Ils échouèrent à cause des difficultés d'agglomération et de l'action pernicieuse de l'humidité de l'air.

La *dolomie* (carbonate double de chaux et de magnésie) réussit mieux, surtout quand elle contient un peu de fer qui fait frifter et qui donne du corps au garnissage quand on le porte à une haute température. Une dolomie à 6 0/0 de  $Fe_2O_3 + Al_2O_3$  convient très bien pour cet usage.

Le meilleur agglomérant pour la dolomie est le goudron. Il faut damer avec une pression de 200 à 300 kilogrammes. On doit distiller lentement le goudron avec un feu de coke modéré, sans excès d'oxygène.

Plus réfractaire que le chaux, la *magnésie* a une température de fusion de 2.600° ; on l'exploite à l'état de carbonate à Eubée, dans

l'Inde, etc. Après calcination pour éliminer l'acide carbonique, on la met en briques sous une pression énergique, qui suffit pour donner des produits résistant suffisamment à l'écrasement, mais qui restent toujours tendres ; il faut leur éviter les frottements. Ces briques sont très employées dans la grosse métallurgie, bien que leur prix soit fort élevé.

**Graphite.** — Ce corps réfractaire et lamelleux est employé surtout pour la fabrication des creusets. Les meilleures qualités viennent de Ceylan et de Madagascar. La pâte de ces récipients est composée de graphite et d'argile réfractaire. La couverte est constituée par un mélange fusible à la température à laquelle les creusets doivent être portés et qui forme vernis protecteur.

**Minéral de chrome ou chromite**  $\text{FeOCr}_2\text{O}_3$ . — Ce minéral tout à fait infusible peut être considéré comme neutre, car il résiste également bien aux scories siliceuses et aux scories basiques calcaires. Aussi l'a-t-on utilisé pour garnir complètement des soles de fours Martin, pouvant servir indifféremment aux opérations acides et basiques.

Le plus souvent le chrome est utilisé sous forme de pisé en le broyant avec du goudron qui sert d'agglomérant.

**Carborundum.** — Le carbure de silicium est produit dans le four électrique. Il se dissocie à une température élevée, au delà de  $2.000^\circ$ , mais il est inoxydable. Comme il est dénué de plasticité, il faut, pour l'employer, lui ajouter 15 0/0 d'argile réfractaire et un peu de silicate de soude pour vernisser sa surface. On fait ainsi d'excellentes soles.

On opère d'une manière analogue avec le *zircon* (silicate de zirconium), qui se trouve en abondance dans certaines alluvions.

**Parois refroidissantes.** — On améliore beaucoup la durée des garnissages réfractaires en les refroidissant aux endroits spécialement exposés (tuyères, trous de coulée des laitiers basiques, etc.) par des courants d'eau circulant dans des chemises ; mais c'est, bien entendu, aux dépens du rendement thermique des appareils qui en sont munis.

## II. — APPAREILS MÉTALLURGIQUES

On les distingue en deux catégories :

- 1° Fourneaux ;
- 2° Appareils mécaniques.

La première sorte forme la série la plus importante. Les appareils mécaniques (laminoirs, marteaux-pilons, etc.) sont semblables à ceux de l'industrie en général.

### FOURNEAUX

On peut diviser les fourneaux en un petit nombre de types déterminés par une considération principale : la *position des matières à élaborer par rapport au combustible*.

- I. Fourneaux où la matière est au *contact du combustible* ;
- II. Fourneaux où la matière est en *contact avec les produits brûlés* ;
- III. Fourneaux où la matière est en *vase clos*, isolée du combustible et des gaz.

**I. Fourneaux où la matière est au contact du combustible.** —

On distingue deux classes :

- A) Fours de grillage ;
- B) Fours de réduction.

**A. Grillage.** — Les fours de grillage où la matière est en contact avec le combustible peuvent être classés de la façon suivante :

Fours de grillage où la matière est en contact avec le combustible (1).....	}	Tas et stalles.	{	Pour minerais en morceaux ou tout venant	}	Kilns. Fours de Normandie.
		Fours à cuves	{	Pour minerais menus	{	Fours à chute libre. Fours à chute ralentie. Fours à tablettes ordinaires. Fours à tablettes mécaniques.

Les tas ne sont plus employés qu'exceptionnellement, dans des pays où l'on ne craint pas la nocivité de l'anhydride sulfureux et lorsqu'on sacrifie ce dernier. Il faut citer particulièrement le cas des minerais bitumineux du Mansfeld, qui sont soumis à un grillage en tas, en vue surtout de détruire le bitume.

(1) Il arrive souvent avec les sulfures que le seul combustible utilisé soit le soufre du minerai.



Les stalles remédient, du moins partiellement, au premier de ces deux inconvénients. Les fours à cuve, dénommés kilns, sont plus usités; mais on n'obtient pas une désulfuration complète de certains sulfures, notamment de la blende. Ils sont cependant utilisés, de façon courante, pour le grillage des mattes, notamment à Lautenthal, à Oker, au Mansfeld, etc., etc.

Dans les exploitations de minerais de fer oolithiques carbonatés de Normandie, on utilise des fours à tirage naturel (La Ferrière) ou à soufflage (Halouze, Larchamp), en forme de fours à chaux. Ces fours ont surtout pour but d'enrichir le minerai en fer par départ du gaz carbonique  $\text{CO}_2$ , mais ils produisent en même temps une désulfuration.

Les appareils à chute ralentie (fours de Gerstenhöfer, de Hasenclever) n'ont donné que de médiocres résultats. Il en est autrement des fours à tablettes, genre Ollivier-Perret-Malétra, qui sont, comme on le sait, couramment employés dans le grillage de la pyrite et l'on n'ignore pas la place qu'ils occupent dans la fabrication de l'acide sulfurique. Mais avec la galène, avec la blende, les résultats ne sont point satisfaisants. Lorsque la teneur en soufre n'est pas très élevée, la conduite du four est impossible et, de toutes façons, on laisse une quantité de soufre importante. Dans les essais faits autrefois à Pontpéan, on n'a pu abaisser la teneur en soufre au-dessous de 5,4 0/0 avec une pyrite blendeuse à 27 0/0 de fer, 38,6 0/0 de soufre, 8,9 0/0 de plomb, 17 0/0 de zinc. Avec des minerais mixtes plus riches en blende et tenant moins de 35 0/0 de soufre, on n'a pu maintenir le four en fonctionnement.

Fourneaux à courant d'air naturel.

Fourneaux à courant d'air forcé.

Le premier cas est celui de la *calcination des minerais en tas*, du *grillage en tas*, de la *cuisson des briques*, etc. La température est peu élevée et le feu est conduit par des ouvreaux ménagés dans la *couverte*.

Les fours à *enveloppe fixe* et à tirage naturel ont un profil généralement conique ou tronconique. On les allume par le bas et on y charge des couches alternatives de matières à élaborer et de combustible. On règle le tirage de façon à ne pas élever trop la température et à éviter des *fusions partielles* ou *frittage* de la masse. Il faut à ces fours des combustibles secs, la distillation des matières volatiles absorbant de la chaleur en pure perte. Le coke et l'antracite conviennent bien. C'est le cas pour les *fours à chaux* et pour la *calcination de la calamine*.

On règle la *sortie* de manière à décharger les matières aussi *froides* que possible. Il est bon de *rétrécir* la section des fours dans le bas, de manière à faciliter l'accès de l'air au centre du four, et on *élargit* au milieu, afin de s'opposer au tassement trop grand des matières qui se produirait dans une cuve cylindrique. Lorsque la



hauteur du four fait craindre une combustion incomplète avec formation d'oxyde de carbone, on peut introduire de l'air par des ouveaux à mi-hauteur.

On retire, dans ces appareils, de 50 à 60 0/0 de l'effet calorifique total. Ces fours, surtout lorsqu'ils sont à marche continue, sont économiques et s'établissent à peu de frais.

B. *Fours de réduction.* — Ces fours sont, pour la plupart, soufflés au moyen de machines (ventilateurs, compresseurs, turbo-compresseurs, etc.).

Dans le groupe des *fourneaux à courant d'air forcé* rentrent les *bas-foyers*, les *cubilots* et *fours à manche* (Cupolas), les *fours à water-jacket* pour la fusion de minerais de plomb et de cuivre, et enfin les *hauts fourneaux*, pour la fabrication de la fonte.

Les formes, dimensions et hauteur sont très variables, nous en donnerons un aperçu dans chaque métallurgie.

*Combustion dans les appareils de cette catégorie.* — Que ces fours soient à tirage naturel ou forcé, on ne doit en général y employer que des combustibles déjà carbonisés ou contenant peu de gaz. L'antracite peut être employé quand ce combustible est de qualité telle qu'il ne se délite pas au feu, qualité assez rare. Il y a cependant en Ecosse des hauts fourneaux chauffés exclusivement avec de la houille demi-grasse dans lesquels les sous-produits de la distillation sont recueillis et utilisés, ce qui entraîne à des installations très coûteuses et compliquées.

*Etude de la combustion.* — Dans ce genre d'appareils, la zone de chaleur maxima se trouve en avant et un peu au-dessus du niveau des tuyères. Cette zone est d'autant plus restreinte et d'autant plus chaude que la pression du vent est plus forte.

Au delà, vient une zone très développée où les gaz contiennent le carbone sous forme de CO, agent réducteur des oxydes métalliques qu'il rencontre sur son passage avant d'être évacué. A la sortie du gueulard, les gaz contiennent encore une assez forte proportion de CO pour être brûlée à la façon d'un gaz de gazogène, en y mélangeant de l'air chaud.

Les fours soufflés conviennent évidemment pour toutes les *fusions réductrices*. La perte de chaleur due à la sortie des laitiers à l'état fondu est insignifiante. La perte par rayonnement à travers les parois est beaucoup plus importante. On peut, d'ailleurs, *diminuer* le pouvoir réducteur de ces fours en chargeant le combustible et le minerai en *colonnes verticales parallèles* et en soufflant de l'air froid, sous faible pression et gros volume.

II. **Fourneaux où la matière est en contact avec les gaz brûlés.** — Le type de ces fours est le *four à réverbère*. On emploie ici des combustibles naturels, puisqu'il faut une *flamme* pour porter la chaleur à distance du foyer.

Il y a de ce chef une perte considérable dans le rendement calorifique. La grille laisse passer aussi beaucoup d'*escarbilles*, produites en *piquant le feu* pour le maintenir *clair*. Enfin la sortie des matières fondues et les rentrées d'air par les portes de travail causent une déperdition considérable de chaleur.

Le four à réverbère est essentiellement *oxydant*. On peut, en ajoutant sur la sole des réducteurs (fer et fonte métallique, soufre, etc.), obtenir avec cet appareil des effets réducteurs, mais la consommation de ces corps est supérieure à ce qu'elle serait dans un four à cuve.

Pour *recupérer* une partie de la chaleur perdue, on peut mettre à la suite de ces fours des *chaudières à vapeur*, qui ne demandent qu'une chaleur moins grande ; c'est ainsi que les *fours à puddler* sont fréquemment accompagnés d'un générateur de vapeur.

On emploie aussi des *grilles inclinées* pour brûler des menus *sous pression*. Enfin, on applique aussi à ces fours le principe de la *recupération*, soit *complète* (*fours Siemens, fours à poteries*), soit partielle (*chauffe Boëtius, four Bicheroux, etc.*).

Il est nécessaire de tenir compte, dans l'appréciation de la température que devra atteindre le four, de la *nature* des matières à élaborer. Dans le grillage des minerais, par exemple, la combustion de soufre vient *suppléer* à l'effet d'une notable partie de combustible, parfois même, lorsque le grillage est conduit méthodiquement, à la *totalité* (four Perret pour le grillage des pyrites).

*Caractéristique.* — La caractéristique des fours à réverbère est le rapport de la *surface de la sole* à la *surface de grille du foyer*, de même que la caractéristique des fours du premier type (hauts fourneaux, fours à cuves, etc.) est le rapport du *diamètre au niveau des tuyères* à la *quantité de combustible* passée pendant l'unité de temps.

### Grillage.

Nous avons dit que le caractère de cette classe de fours est d'être essentiellement oxydants. Il n'est donc pas étonnant que les efforts des métallurgistes et des constructeurs se soient tout d'abord portés du côté des fours à tablettes et des fours à flammes. Il serait trop long de décrire ici toutes les formes données à ces appareils. Nous nous arrêterons seulement sur leurs progrès les plus récents. Quant aux convertisseurs, ils sont surtout employés pour la galène ; ils ont apporté dans la métallurgie du plomb un progrès de la plus haute importance. On trouvera, à la partie de ce manuel relative à la métallurgie de ce métal, des détails plus complets sur l'emploi de ces convertisseurs.

**Progrès dans la construction des fours de grillage.** — On peut dire que les efforts des constructeurs ont porté avant tout sur l'emploi de moyens mécaniques pour diminuer la main-d'œuvre.

Toutefois il faut bien noter que le four à pelletage continu, forme relativement moderne du four à réverbère, n'a pas disparu, même pour des sulfures autres que la blende. Aux usines de Trail, il existe huit de ces fours ayant pour dimensions : longueur, 23 mètres ; largeur, 5 mètres ; avec 12 portes de travail ; la capacité de travail de chaque four est de 12 tonnes par vingt-quatre heures.

En dehors du brassage mécanique, les progrès apportés dans les fours sont :

L'augmentation de capacité de production ;

Les améliorations dans les commandes mécaniques ;

Les améliorations dans le chargement ;

Les améliorations dans le chauffage, en utilisant le gaz, avec ou sans récupération.

**Fours rotatifs.** — Le plus répandu est le four Brückner (*fig. 2*), qui convient surtout pour les minerais de plomb et de cuivre. Il est chauffé au moyen d'un foyer amovible porté sur un chariot.

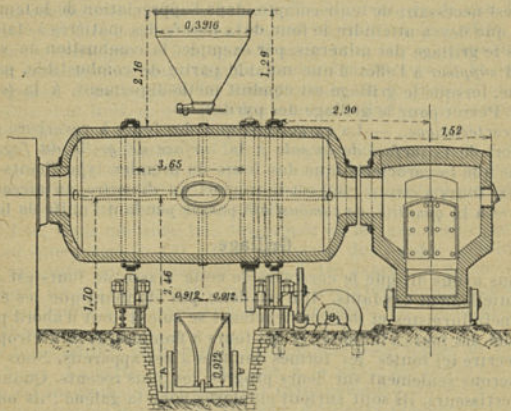


FIG. 2. — Four rotatif Brückner.

Les fours à cuve de grillage ne consomment ordinairement pas de combustible ; les fours à réverbère sont généralement chauffés par de simples grilles, souvent au nombre de deux ou trois.

Cependant on a cherché en diverses circonstances à remplacer le



charbon par le gaz. Nous citerons l'installation faite à la Compagnie française du Laurium, en vue du grillage qui précède, ainsi que nous le verrons plus loin, le passage au convertisseur. Cette opération se faisait dans un four Oxland, chauffé comme à l'ordinaire par un gazogène Siemens placé à l'extrémité basse du tube. On a remplacé le gazogène, qui donnait un chauffage irrégulier, par un brûleur à gaz alimenté par la station centrale de gazogènes de l'usine et par de l'air comprimé.

Le four comprend un cylindre en tôle d'un diamètre de 1<sup>m</sup>,21 ayant une inclinaison de 5° 1/2 sur l'horizontale.

Son revêtement en briques réfractaires a une épaisseur d'environ 0<sup>m</sup>,15; il est lisse, au contraire de ce qui existe en général dans ces fours; en évitant ainsi les arêtes qui ont pour but d'amener de brusques mouvements de la matière, on a diminué la quantité de poussières formées. Le mouvement de rotation est toujours donné par engrenage et crémaillères circulaires; le four repose sur galets, de façon à faciliter sa rotation.

L'appareil à chargement mérite une description spéciale: il est formé de deux trémies distinctes, qui sont alimentées, la première en minerai, la seconde en carbonate de chaux.

Cette addition, qui rend ce grillage scorifiant et prépare au convertissage, sera expliquée à propos de la métallurgie du plomb.

Sous chaque trémie se trouve une table tournante; l'une déverse son contenu sur l'autre, ce qui produit un mélange homogène qui tombe dans une trémie; de là les matières sont transportées par vis sans fin au four proprement dit.

Par suite de la rotation et de l'inclinaison du four, la matière s'achemine lentement vers la partie basse du four, s'approchant ainsi de la partie la plus chaude, où se trouve le brûleur. La vitesse du four est de 10 tours à l'heure, sa capacité de 25 tonnes par vingt-quatre heures.

Les fumées qui s'échappent du four gagnent d'abord une petite chambre à poussières qui donne accès à l'appareil de chargement, puis la galerie proprement dite.

Ce chauffage par chalumeau à gaz n'a pas donné toute satisfaction. La température est trop élevée au brûleur; il y a alors fusion partielle des sulfures, les produits collent au revêtement. On ne peut remédier à ce grave inconvénient qu'en ringardant d'une façon presque constante, et ce travail est fort pénible. D'autre part, et toujours à cause de la température, les volatilisations sont importantes. On a d'ailleurs décidé de le remplacer par deux grands fours à sole tournante, genre Brukton ou Héberlein.

**III. Fourneaux à vases clos.** — *Four à vent.* — Cet appareil, dont les modèles réduits sont en usage dans tous les laboratoires, emploie du coke pour son chauffage. Il est utilisé pour la fusion au creuset d'une foule de métaux, notamment du cuivre et de ses alliages. L'uti-



lisation du combustible, comme, d'ailleurs, dans tous les fours à vase clos, y est très médiocre. Il y a, de plus, une perte considérable d'escarbilles à chaque coulée et dans les décrassages. Le *four Piat* évite une partie de ces inconvénients, mais sans les supprimer totalement. On commence aussi à chauffer les fours à vent avec les *gaz de gazogène*. C'est un progrès très recommandable, mais qui exige des installations assez importantes.

Les fours pour la *fabrication du gaz d'éclairage*, les fours de réduction pour le *zinc* et pour le *nickel*, pour la *liquéfaction de l'antimoine*, etc., appartiennent à cette catégorie. On opère soit en creusets (de préférence en plombagine), soit en mouffes ou cornues réfractaires de dimensions ou de formes très diverses. Ce qu'il faut rechercher surtout, c'est un chauffage *uniforme* de la capacité du four, de manière à éviter les *ruptures* des récipients réfractaires dues à des différences de températures. Enfin, le maximum d'économie de combustible, compatible avec le principe même du chauffage en vases clos, s'obtient par l'emploi des *générateurs à gaz* combinés avec un système de *récupération*.

Dans le grillage des sulfures, le four à moufle présente l'avantage de donner des produits plus purs (gaz et oxyde), mais il est plus coûteux comme construction, entretien et frais de chauffage. Il est cependant le plus employé, pour ainsi dire le seul usité en Europe, pour le grillage de la blende, opération délicate.

**Grillage de la blende.** — M. Guillet a fait très justement ressortir la difficulté que l'on rencontre dans le grillage de ce sulfure.

Alors que le grillage de la pyrite se fait aisément jusqu'au centre, et cela probablement parce que le fer peut s'oxyder en donnant  $\text{FeO}$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ce dernier cédant son oxygène et jouant le rôle important d'intermédiaire, la blende en morceaux renferme encore après grillage 8 à 10 0/0 de soufre.

Il faut donc pulvériser le minerai.

D'autre part, la combustion du sulfure de zinc est bien exothermique, mais, cependant, il n'est pas possible d'obtenir un résultat pratique sans chauffage extérieur.

Cela tient probablement à la lenteur de l'oxydation, laquelle entraîne forcément des déperditions de chaleur. Il faut donc faire du grillage en four chauffé, soit en réverbère, soit en moufle.

Si l'on veut recueillir l'acide sulfureux pour l'utiliser, le four à moufle seul donnera les résultats satisfaisants.

Enfin il se forme dans le grillage un mélange d'oxyde et de sulfate, et le sulfate de zinc n'est décomposé qu'à température élevée. D'où nécessité d'un coup de feu à la fin de l'opération.

On doit d'ailleurs ajouter que, dans le rendement du grillage, il faut faire bien attention au soufre contenu à l'état de sulfure et au soufre contenu à l'état de sulfate; il faut regarder le premier comme

du soufre nuisible parce qu'il abaisse le rendement de l'opération et qu'il diminue considérablement la durée du creuset, probablement par suite de formation de sulfure de fer. D'ailleurs, dans les nombreuses usines à zinc qui font griller leurs minerais, dans les fabriques d'acide sulfurique, on fait nettement cette distinction. La chaux, la magnésie augmentent évidemment le soufre présent après grillage par suite de la formation de sulfate, mais ici il ne s'agit que de soufre non nuisible.

Mais là n'est point la question intéressante : en visitant les usines à zinc de France, de Westphalie ou de Belgique, on est frappé du nombre extraordinairement restreint d'usines qui font le grillage au four mécanique. De plus on rencontre des usines (on peut en citer au moins deux), qui, ayant eu de tels fours, les ont abandonnés.

En Amérique, au contraire, les fours mécaniques sont utilisés d'une façon courante pour le grillage des blendes. La raison de cette préférence doit être recherchée dans l'économie de main-d'œuvre, raison capitale, étant donné le taux des salaires dans les pays yankees. Le combustible y est, par contre, bon marché et, enfin, les dégagements d'acide sulfureux ne gênent pas, aucune loi ne réglementant les émanations insalubres.

Sur le continent, et même en Angleterre, on n'utilise pour ainsi dire que les fours à mouffes qui peuvent être divisés en deux catégories :

- 1° Les fours à un seul moufle avec soles superposées ;
- 2° Les fours à plusieurs mouffes placés les uns au-dessus des autres.

Nous citerons comme exemple l'usine Birkenkang, près de Stolberg, où le grillage se fait après broyage à 1<sup>mm</sup>1/4 environ, dans douze fours Hasenclever à trois mouffes ; la production par vingt-quatre heures est de 7 à 8 tonnes de produits grillés par four. La blende avant grillage accuse 22-25 0/0 de soufre ; il ne reste que 2,5 0/0 après l'opération.

Les fours d'Overpelt (Belgique) sont à trois soles ; leur capacité est de 8 tonnes de produits grillés par four et par vingt-quatre heures avec une consommation de combustible de 12 à 13 0/0 du minerai chargé. Le nombre de fours est de dix ; la température atteint environ 750-800° à la partie supérieure, 1.000° sur la sole inférieure.

Un four qui est très usité en Belgique et en France est celui de M. Delplace, de Namur. Nous en donnerons une description sommaire (fig. 3).

Des fours du genre Malétra ne donnent généralement pas de bons résultats, à moins que la teneur en soufre ne soit très élevée. Le four de M. Delplace est bien un four à tablettes, mais avec foyer. Il est caractérisé par les points suivants :

- 1° Les gaz ne chauffent que la sole inférieure par en dessous et, par

conséquent, ne viennent pas en contact avec le minerai ; il n'y a donc pas mélange des gaz de la combustion avec ceux du grillage. En cela le four agit comme un moufle ;

2° Le four est à récupération de chaleur, en ce sens que l'air utilisé pour brûler le combustible, ainsi que celui qui est envoyé dans le four même pour la combustion du soufre, est chauffé par circulation dans le massif du four ;

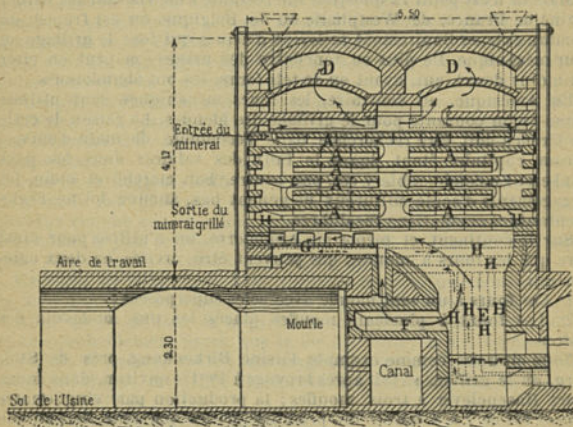


FIG. 3. — Four Deplace.

3° Le combustible utilisé peut être du menu, pourvu qu'il soit susceptible de se cokéfier. Il est placé dans un moufle F qui est chauffé par les flammes perdues du four. Les produits gazeux qui se dégagent du combustible gagnent, d'une part, la chambre de combustion E et, d'autre part, directement le dessous de la sole du four.

Les produits de la combustion circulent sous la sole.

Quant au coke formé dans le moufle, il est amené sur la grille où il est brûlé par de l'air chauffé par circulation dans le massif.

Ces fours se construisent par massifs de 12 fours à 6 ou 7 étages ; capacité de production 15 tonnes par vingt-quatre heures ; consommation 90 à 120 kilogrammes de charbon par tonne de minerai cru.

Le grillage des minerais de plomb par aspiration et celui des mine-



rais d'antimoine seront décrits plus loin aux paragraphes réservés à la métallurgie de ces métaux.

Les chaudières à vapeur rentrent dans la catégorie du chauffage en vase clos. Il n'est pas utile de multiplier au delà d'une certaine limite le parcours des gaz en contact avec les parois des chaudières; 30 mètres est un maximum au delà duquel la vaporisation par mètre carré de surface de chaudière cesse d'être avantageuse. Mais les gaz peuvent encore, avant de s'échapper par la cheminée, échanger une partie de leur chaleur avec un *réchauffeur d'alimentation*, qui permet d'introduire l'eau dans la chaudière entre 60° et 70°, ce qui est très avantageux pour le rendement.

### Poids de combustible consommé dans les fourneaux métallurgiques.

Pour compléter les renseignements qui précèdent, nous donnons ci-dessous, pour quelques fours métallurgiques, le *poids du combustible brûlé par heure et par mètre carré de grille* :

Fours de grillage des minerais sulfurés.....	15 à 40 kil.
Foyers de chaudières à vapeur fixes.....	40 à 100 —
Fourneaux d'agglomération et de fusion des minerais de plomb.....	60 à 80 —
Fours de fusion des minerais de cuivre.....	75 à 150 —
Fours de puddlage pour fer et acier.....	100 à 150 —
Fours de sondage pour fer.....	150 à 200 —
Fours de fusion de l'acier.....	200 à 400 —
Foyers de locomotives.....	400 à 500 —

et le *nombre de mètres cubes du laboratoire*, c'est-à-dire de la partie du four où se produisent les réactions, *par quintal métrique de houille ou de coke brûlé par heure* ou par 800.000 calories engendrées dans ce même temps:

FOURNEAUX A	Chauffage graduel	Four à briques ordinaires (F. Carville, à Alais).....	100
		Four à briques réfractaires de Bolène (F. Lafargue)....	35
		Four de grillage des minerais de cuivre à Swansea.....	30
		Four de cémentation à 2 caisses de 10 tonnes chacune..	30
		Four à zinc silésien à Valentin Coq.....	9,400
	Chauffage rapide	Four à zinc liégeois.....	5,800
		Four de fusion pour mattes de cuivre, à Swansea.....	2,900
		Four de fusion pour affinage de cuivre brut.....	2,200
		Four de fusion des minerais d'étain en Angleterre.....	1,600
		Four à plomb de Snailbeach (Angleterre).....	2,400
Four à réverbère de Mazéage (Silésie).....		1,900	
		Four de puddlage ordinaire.....	1,000 à 1,150
		Four de puddlage à marche rapide.....	0,650 à 0,800
		Four de fusion pour acier en creusets (usine de Lorette).....	0,300
		Four de fusion pour acier sur sole.....	0,20 à 0,150



Enfin beaucoup d'appareils métallurgiques sont suivis en cours d'exploitation ou même construits en tenant compte de la quantité de charbon consommé par tonne du produit net élaboré ou réchauffé.

Ainsi les fours Martin consomment de 250 à 800 kilogrammes de houille par tonne d'acier produit suivant le type du four, ses dimensions, sa production.

Ainsi les fours de 30 à 50 tonnes par coulée, faisant trois à quatre coulées par jour, consomment de 250 à 350 kilogrammes par tonne.

Les petits fours pour moulage de 2 à 5 ou 8 tonnes consomment jusqu'à 600 ou 700 kilogrammes par tonne d'acier.

Il existe cependant de petits fours Martin type Sidérofours de 5 à 10 tonnes faisant quatre à six coulées par vingt-quatre heures et ne consommant pas 300 kilogrammes de charbon par tonne d'acier produit.

### Constructions des appareils métallurgiques.

On distingue deux parties principales dans la construction d'un four :

Le massif réfractaire ;

Le massif extérieur.

Le massif réfractaire est composé uniquement de matériaux pouvant résister au contact du feu et n'ayant pas de *dilatation* sensible. Leur *nature* chimique doit leur permettre aussi de résister à l'action corrosive des *scories* et *laitiers*, ainsi que des *métaux*, à l'état de *matte* ou de *fente*.

Les garnissages sont dits *acides* ou *basiques*, suivant leur nature. Ces derniers exercent une action favorable pour la *désulfuration* et la *déphosphoration*. On emploie aussi avec succès des garnissages décrits plus haut (voir page 38).

Il faut éviter les parois réfractaires *trop épaisses*, d'abord par raison d'économie et ensuite parce qu'étant soumises à des *réfections* fréquentes, il convient de leur donner des dimensions limitées.

Le massif intérieur doit toujours être *indépendant* du massif extérieur. On remplit le vide avec des matériaux menus et réfractaires (sable et briques concassées). La maçonnerie réfractaire doit être faite avec soin, les joints doivent être très serrés. On emploie, au lieu de mortier, du *coulis réfractaire* de très bonne qualité, ne fondant pas sous l'action de la chaleur, sinon le four tomberait promptement en ruine.

Sur le massif extérieur se posent les *armatures* composées de fer **I** ou de rails encastrés dans le sol et réunis par de forts *tirants* filetés. Il est bon, en outre, de garnir les faces latérales avec des plaques en fonte ou en acier, notamment au niveau de la poussée des voûtes.

On tend de plus en plus à garantir le massif réfractaire, non seulement par les moyens ci-dessus énumérés, mais encore par un *refroidissement* des parois au moyen d'une *circulation* continue d'air ou d'eau. Ce moyen est très efficace. On arrive même pour les cubilots, les fours à manche, à supprimer complètement le revêtement intérieur en briques et à fondre directement dans un manchon métallique formé d'une ou plusieurs pièces refroidies constamment par un courant d'eau. Ces fours, dits « Water Jacket », qui ont été d'abord adoptés en Amérique, sont d'un usage courant pour la métallurgie du plomb, du cuivre, du nickel, etc.

### Cheminées.

Si on désigne par :

$L$ , la hauteur de la cheminée ;

$t$ , la température de l'air extérieur ;

$t'$ , la température de l'air intérieur ;

$\alpha$ , le coefficient de dilatation de l'air = 0,00366 ;

$h$ , la hauteur génératrice de la vitesse  $v$  avec laquelle l'air passe à travers la chauffe ;

$s$ , la section totalisée de tous les passages laissés à l'air pour arriver à la cheminée à travers la grille ;

$S$ , la section de la cheminée,

on a :

$$h = \frac{L\alpha(t' - t)}{1 + \alpha t}$$

ou approximativement :

$$\begin{aligned} h &= L\alpha(t' - t); \\ v &= \sqrt{2g\alpha L(t - t')}. \end{aligned}$$

La vitesse  $V$  de l'air dans la cheminée sera

$$V = v \left( \frac{s}{S} \right).$$

Le poids d'air  $Q$  passant par seconde dans les sections  $s$  sera, en appelant  $d_0$  la densité de l'air à  $0^\circ$  et sous la pression atmosphérique augmentée du poids de la colonne d'air contenue dans la cheminée à la température  $t'$  :

$$Q = \frac{sd_0 \sqrt{2g\alpha L(t' - t)}}{1 + \alpha t'}$$

On a calculé, dans le tableau suivant, les valeurs de  $h$  et de  $v$  dans un certain nombre de cas (Voir p. 53)

La vitesse des gaz chauds dans les cheminées ne devrait pas dépasser

HAUTEUR DES CHEMINÉES	10 MÈTRES		15 MÈTRES		20 MÈTRES		30 MÈTRES		50 MÈTRES		100 MÈTRES	
	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>	<i>h</i>	<i>v</i>
Température de l'air chaud dans les cheminées	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
	1,83	5,99	2,74	7,33	3,66	8,47	5,49	10,38	9,15	13,40	18,30	18,95
	3,66	8,47	5,49	10,38	7,32	11,98	10,98	14,68	18,30	18,95	36,60	26,80
	7,32	1,98	10,98	14,68	14,64	16,94	21,96	21,00	36,60	26,80	73,20	37,89
	10,98	14,68	16,47	17,28	21,96	21,00	32,94	25,42	54,90	32,82	109,80	56,41
	14,64	16,94	21,96	21,00	29,28	23,97	43,92	29,35	73,20	37,89	146,40	53,59
18,30	18,95	27,45	23,15	36,65	26,80	54,90	32,80	91,50	43,37	183,00	59,97	
36,60	26,80	54,90	32,82	73,20	37,89	109,80	46,41	183,30	59,97	366,60	84,79	

NOTA. — Les colonnes surmontées de la lettre *h* contiennent, en mètres, les hauteurs *matrices*, formées d'air uniformément dense, pris à la température *t'*. Celles qui portent la lettre *v* donnent la vitesse dans les sections *s*, en admettant que l'air *y* possède aussi la température *t'*. Pour avoir la vitesse à la température extérieure *s*, il faudrait multiplier les valeurs de *v* par le rapport  $\frac{\sqrt{1 + \alpha t'}}{\sqrt{1 + \alpha t}}$ , ou même par  $\frac{1}{\sqrt{1 + \alpha t}}$ , si l'on voulait avoir la vitesse de l'air froid à son entrée dans les canaux sinueux de la chauffe.



ser 5 mètres par seconde. Partant de là, et connaissant les volumes de gaz qui doivent les traverser, on calculera aisément la section à leur donner.

**Hauteur à donner aux cheminées.** — Le tirage croît proportionnellement à  $\sqrt{2}$  de la hauteur. Si donc on double cette dimension, sans changer de diamètre, on accroît le tirage de 1,41, mais par contre, le frottement passe de 1 à 1,20, de sorte que le gain net est de  $1/5$  seulement.

Les hautes cheminées (au delà de 70 mètres) ont surtout de l'utilité lorsque les gaz qu'elles sont chargées d'évacuer peuvent avoir une influence nuisible sur la végétation ou sur les êtres animés. Il y a grand avantage à diffuser ces produits nocifs dans les couches supérieures de l'atmosphère.

### FORMULE LAFON POUR LE CALCUL DES CHEMINÉES

Bien que discutée avec àpreté, cette formule a le mérite de la simplicité. Elle peut être utilisée, ne fut-ce qu'à titre de comparaison avec les formules usuelles. Elle est basée sur le principe d'Archimède appliqué aux gaz.

Les fumées montent dans la cheminée sous l'action d'une poussée de l'air ambiant et, cette poussée étant sensiblement constante de bas en haut, il en résulte que l'ascension est uniformément accélérée.

Un calcul très simple de proportionnalité des forces aux accélérations appliqué à une masse finie de fumée, le débit par exemple, donne pour accélération du mouvement la formule suivante :

$$\gamma = g\alpha t,$$

dans laquelle  $g$  est la gravité,  $\alpha$  le coefficient de dilatation des gaz et  $t$  la température des fumées.

La discussion de cette formule conduit aux conclusions suivantes qui renferment tout le calcul des cheminées :

1<sup>o</sup> Cette accélération ou vitesse de première seconde fournit, lorsqu'on connaît le débit, la section et par conséquent le diamètre de base ;

2<sup>o</sup> La formule classique du mouvement uniformément accéléré :

$$v = \sqrt{2\gamma H}$$

dans laquelle  $\gamma$  est l'accélération donnée par la formule précédente, fournit la section et par conséquent le diamètre au sommet d'une cheminée de hauteur  $H$  ;

3<sup>o</sup> La hauteur  $H$  se détermine par expérience ; on la fait généralement égale à 30 ou 40 diamètres selon les foyers et même, dans les



fours de céramique où les fumées sortent à très basse température, on ira jusqu'à 50 et 60 diamètres.

Le même auteur a préconisé de faire les cheminées entièrement en tôle d'acier avec double paroi, la paroi intérieure régissant sur tout ou partie de la hauteur.

Que ces cheminées soient haubannées ou non, ce qui dépend en partie des conditions locales, il résulte de cette nouvelle disposition les avantages suivants :

1° Chaque paroi remplit distinctement son rôle; la paroi intérieure soumise seule à la dilatation n'affectant pas la résistance de la paroi extérieure soumise simplement à l'action du vent;

2° Le matelas d'air interposé entre les parois concentriques joue le rôle d'isolant;

3° La tôle extérieure rayonne très faiblement la faible quantité de chaleur qui aurait pu filtrer au travers du matelas d'air;

4° Ces cheminées ne peuvent subir aucune fissure, ce qui assure la permanence de leur stabilité et aussi de leur étanchéité;

5° Ces cheminées, constituées par des tronçons démontables, peuvent être aisément déplacées lors d'une transformation d'usine et restent toujours récupérables en cas de démolition;

6° Enfin, elles coûtent bien moins cher que les autres. L'économie peut ressortir à 20 ou 30 0/0.

## APPAREILS MÉCANIQUES EMPLOYÉS DANS LA MÉTALLURGIE

La métallurgie n'a progressé que depuis que la main de l'homme a été remplacée, en premier lieu, par des *machines hydrauliques*, ensuite par les machines à vapeur, les chemins de fer et l'électricité.

Les manutentions de matières tendent de plus en plus à se faire par des moyens mécaniques. Le travail même de brassage, de puddlage s'opère automatiquement dans bien des cas.

### Machines soufflantes.

Désignant par :

S, la section du cylindre soufflant en mètres carrés;

V, la vitesse moyenne du piston en mètres par minute,

K, le coefficient d'effet utile qui varie de 0,60 à 0,75 avec la construction de l'appareil,

la *quantité de vent* Q que la machine peut fournir par seconde en mètres cubes sera :

$$Q = K \frac{SV}{60}$$

La *force en chevaux* F qu'il faudra développer pour produire cette

quantité de vent sous une pression de  $h$  centimètres d'eau ou de  $p$  kilogrammes par centimètre carré, sera :

$$F = \frac{1}{m} \cdot \frac{1.000SpV}{75 \times 60},$$

ou

$$F = \frac{1}{m \cdot K} \cdot \frac{1.000h}{75 \times 100} Q,$$

ou

$$F = \frac{1}{m \cdot K} \cdot \frac{10.000p}{75} Q.$$

formules dans lesquelles :

$m$  est un coefficient dont la valeur varie de 0,70 à 0,75,  
 $mk = 0,45$  à 0,60.

Les valeurs de  $p$  correspondant à différentes pressions exprimées en centimètres de mercure sont les suivantes :

Centim. de mercure.	5	10	15	20	30	40	50	60	75
Kilogr. par cent. carré.	0,068	0,136	0,204	0,272	0,408	0,544	0,680	0,816	1,02

La *vitesse moyenne* donnée au piston est habituellement comprise entre 60 et 75 mètres par minute ; on a été jusqu'à 125 mètres dans des machines construites avec le plus grand soin.

La *course* donnée au piston est :

Pour les pistons de 1<sup>m</sup>,5 de diamètre au plus, égale aux 5/5 ou aux 6/5 du diamètre ;

Pour les pistons de diamètre supérieur, égale aux 3/4 ou aux 4/4 du diamètre.

La *section* donnée aux clapets varie de :

1/12 à 1/9 de la surface du piston pour les clapets d'aspiration ;

1/25 à 1/20 de cette surface pour les clapets de refoulement.

Les soufflantes à vapeur verticales, telles que le calcul ci-dessus permet de les établir, sont de plus en plus délaissées en faveur des types plus nouveaux et plus efficaces. On peut distinguer actuellement quatre types différents, tous sanctionnés par la pratique, de souffleries de hauts fourneaux.

1. Les *souffleries à piston* actionnées par *machine horizontale à vapeur* : elles comportent deux cylindres soufflants montés respectivement en tandem sur les deux cylindres de la machine à vapeur, qui sont compoundés, avec manivelles à 90°. La dernière installation de Valenciennes comprenait une soufflante horizontale à vapeur Cockerill comme machine de mise en route et de réserve. Enfin, l'usine de l'Espérance, à Louvroil, venait également d'installer avant la guerre, pour ses deux premiers fourneaux, deux soufflantes horizontales à vapeur (construites par La Meuse, à Sclessin-lès-Liége), pour

n'aborder l'utilisation directe du gaz dans des moteurs que lorsqu'elle disposerait de quatre hauts fourneaux.

Les soufflantes de Denain, qui alimentaient des fourneaux d'une production journalière de 180 à 200 tonnes, présentaient les caractéristiques suivantes : diamètre du cylindre HP 0<sup>m</sup>,850, diamètre du cylindre BP 1<sup>m</sup>,350, diamètre des cylindres à vent 1<sup>m</sup>,700, course commune 1<sup>m</sup>,300, volume théorique aspiré par tour 11<sup>m</sup><sup>3</sup>,8; elles marchaient à une vitesse de 54 à 65 tours par minute.

La soufflante de Valenciennes, qui alimentait un fourneau de 200 à 210 tonnes, était de dimensions beaucoup plus grandes (0<sup>m</sup>,900 et 1<sup>m</sup>,500 d'alésage pour les cylindres à vapeur, 2<sup>m</sup>,100 pour les cylindres à vent, 1<sup>m</sup>,500 de course, soit un volume théorique de 20<sup>m</sup><sup>3</sup>,8 par tour) et sa vitesse normale était notablement moindre (40 tours). Elle pouvait d'ailleurs souffler, en cas de besoin, deux hauts fourneaux à petite allure, à la vitesse de 60 tours.

Quant aux soufflantes de Louvroil, elles étaient de dimensions plus considérables encore (0<sup>m</sup>,950 et 1<sup>m</sup>,600 pour les cylindres à vapeur, 2<sup>m</sup>,350 pour les cylindres à vent, 1<sup>m</sup>,500 de course commune, soit un volume théorique de 26 mètres cubes par tour), bien que devant alimenter des fourneaux de moindre capacité (production visée : 160 tonnes). La vitesse normale de ces soufflantes était de 20 tours; mais elle pouvait être portée, en cas de nécessité, jusqu'à 42 tours, cela pour éviter l'installation d'une soufflante de réserve.

2. Les souffleries à piston actionnées par moteur à gaz. Il en existait une à Isbergues depuis 1906 : soufflante Cockerill monocylindrique tandem, comportant un cylindre à gaz à quatre temps et à double effet de 1 mètre d'alésage, monté en tandem sur un cylindre à vent de 2 mètres (course commune 1<sup>m</sup>,100, vitesse normale de rotation 75 tours par minute).

La Société du Nord et de l'Est en avait installé trois avant la guerre, dans son usine de Valenciennes : celles-ci, du dernier type Cockerill à quatre temps et à double effet, comportaient deux cylindres moteurs de 1.000 d'alésage montés en tandem sur un cylindre à vent unique de 2<sup>m</sup>,550 de diamètre, avec une course commune de 1<sup>m</sup>,400 (vitesse normale de rotation, 60 tours par minute, pouvant être portée à 80).

Dans son installation de Calais, confiée à la Société alsacienne de constructions mécaniques, la Société de Sambre-et-Meuse a également adopté la soufflerie à piston actionnée par moteur à gaz. Les soufflantes à gaz des hauts fourneaux de Calais sont du type quatre temps double effet; elles comportent deux cylindres moteurs de 0<sup>m</sup>,823 d'alésage montés en tandem sur un cylindre à vent unique de 1<sup>m</sup>,650 (course commune 1<sup>m</sup>,100, vitesse normale de rotation 80 tours par minute). L'installation complète, pour les deux fourneaux, comprend trois soufflantes à gaz identiques, dont une en réserve.

Enfin, les Aciéries de France ont installé, pour leurs nouveaux



fourneaux 5 et 6 d'Isbergues, trois soufflantes à gaz (dont une en réserve), du type quatre temps double effet avec une seule ligne tandem comprenant deux cylindres moteurs de 0<sup>m</sup>,900 d'alésage et un cylindre à vent de 2<sup>m</sup>,220 (course commune 1<sup>m</sup>,100, vitesse de rotation 90 tours par minute).

En définitive, les soufflantes à gaz d'installation récente sont toutes du type *quatre temps double effet à une ligne tandem* composé de deux cylindres moteurs et d'un cylindre soufflant. Le diamètre varie de 0<sup>m</sup>,825 à 1 mètre pour les cylindres à gaz, de 1<sup>m</sup>,650 à 2<sup>m</sup>,550 pour le cylindre à vent; la course commune varie entre 1<sup>m</sup>,100 et 1<sup>m</sup>,400, le volume théorique engendré par tour entre 4<sup>m</sup>3,7 et 14<sup>m</sup>3,3, le nombre de tours entre 60 et 90 par minute. On remarquera l'allure relativement lente et les dimensions relativement considérables des soufflantes à gaz de Valenciennes.

3. Les *soufflantes centrifuges* actionnées par *turbine à vapeur*. C'est le cas de la turbo-soufflante, système Rateau, qui alimente le fourneau n° 4 d'Isbergues et des deux turbo-soufflantes, système Rateau, mise en marche, en octobre 1911, à Denain, pour remplacer les machines soufflantes des quatre fourneaux de 100 tonnes (n° 1, 2, 3 et 4). La turbo-soufflante d'Isbergues tourne à 2.000 tours et son débit (en mètres cubes aspirés) est de 540 mètres cubes par minute, avec une pression au refoulement de 30 centimètres de mercure; la puissance du moteur est de 650 chevaux.

4. Enfin les *soufflantes centrifuges* actionnées par *moteurs électriques* recevant le courant d'une station centrale à moteurs à gaz.

C'est la solution qui a été adoptée à l'usine d'Outreau (Pas-de-Calais) pour deux turbo-soufflantes devant fournir un débit (en volume aspiré) de 700 à 800 mètres cubes de vent par minute, sous une pression au refoulement de 25 centimètres de mercure.

L'énergie électrique peut être également fournie par une centrale à turbines à vapeur d'échappement (type Rateau).

On connaît les avantages généraux des soufflantes centrifuges sur celles à piston : absence de frottements, sauf dans les paliers, facilité d'entretien, faible consommation d'huile, régularité du débit, suppression des pulsations, enfin commande directe par turbines à vapeur ou moteurs électriques permettant d'établir des ensembles turbo-compresseurs qui se recommandent à la fois par leur faible encombrement et par leur souplesse de marche. D'autre part, la constance du débit, quelle que soit la résistance du circuit extérieur, constance indispensable pour le soufflage des hauts fourneaux, a été réalisée au moyen de dispositifs spéciaux et notamment du multiplicateur de dépression système Rateau. Quant au rendement mécanique des soufflantes centrifuges, on sait que, pour une pression et un débit suffisamment élevés, il ne diffère pas sensiblement de celui des machines à piston.



L'emploi de soufflantes centrifuges est particulièrement intéressant dans les usines où l'on dispose de vapeurs d'échappement; la solution indiquée est alors la commande par turbines à basse pression (ou mieux par turbines mixtes, en vue de parer aux irrégularités possibles de l'arrivée de la vapeur basse pression). Dans les usines ne disposant pas de vapeur d'échappement, il est hors de doute qu'au point de vue de la *dépense de gaz* pour la production de la force motrice, la solution la plus économique est celle de la soufflerie à piston directement actionnée par moteur à gaz. Mais il est possible également de combiner le moteur à gaz et la soufflante centrifuge, en interposant entre eux deux machines électriques : une génératrice à la centrale et une réceptrice à la soufflerie. Enfin la solution de la turbo-soufflante à vapeur alimentée par des chaudières chauffées au gaz de haut fourneau, bien qu'entraînant une consommation de gaz supérieure à celle de la soufflante à gaz, peut néanmoins lui être préférée lorsqu'on tient compte des frais de premier établissement d'entretien et d'amortissement. La régularité de marche ne peut plus intervenir en faveur de ce choix.

Actuellement en effet on utilise de plus en plus les gaz brûlés d'échappement des moteurs à gaz pour la production de vapeur surchauffée à haute pression [Voir *utilisation gaz de H. F.*, page 63].

Cette vapeur alimente les groupes turbo-générateurs, constituant les groupes tampons destinés à absorber les pointes et à-coups de consommation du réseau électrique et parfois aussi les turbo-soufflantes aptes à subir un régime de débit et de pression brusquement variables (1).

### Machine soufflante à gaz pour aciérie.

Depuis 1918, l'aciérie Thomas des aciéries de Pompey (M.-et-M.) possède une machine soufflante à gaz, construite par les ateliers Thyssen, de Mulheim sur la Ruhr.

Cette machine, à quatre temps, comporte deux paires de cylindres en tandem, les cylindres à gaz ayant 1<sup>m</sup>,20 de diamètre et les cylindres à vent ayant un diamètre de 1<sup>m</sup>,90. La course commune est de 1<sup>m</sup>,40. A l'allure de 90 tours à la minute, cette machine aspire 1.150 mètres cubes d'air et les refoule à la pression maxima de 2<sup>k</sup>g,500 par cm<sup>2</sup>.

La *Société métallurgique de Sambre-et-Moselle*, à Montignies-sur-Sambre, a mis en service une turbo-soufflante d'aciérie qui offre un intérêt tout particulier en raison de sa puissance et aussi parce que c'est la première machine de ce genre construite jusqu'ici.

(1) Voir à ce sujet « Les Tendances actuelles des procédés sidérurgiques », *Technique moderne*, IRIS - LILLIAD - Université Lille 1, 1923.

Cette soufflante fournit le vent nécessaire à une installation comportant quatre convertisseurs Bessemer d'une contenance de 15 tonnes : elle est capable de comprimer, à une pression de  $0^{\text{k}},4$  à  $2^{\text{k}},5$  par  $\text{cm}^2$ , une quantité d'air aspiré de 150 à 800  $\text{m}^3$  par minute.

La vitesse maxima est de 2.607 tours par minute et la puissance la plus élevée de la turbine est de 3.750 HP.

Les espérances que l'on avait fondées sur cette soufflante se sont non seulement réalisées d'une façon complète, mais elles furent même dépassées, tant en ce qui concerne la précision et la rapidité du réglage que pour ce qui est de la parfaite adaptation de cette machine aux besoins de l'exploitation.

Les avantages principaux que présentent ces turbo-soufflantes, comparées aux soufflantes à piston, sont : les dimensions réduites, les frais minimes de surveillance, d'entretien et de graissage et, ce qui n'est pas le moins intéressant, le prix plus faible.

La bonne régulation permet en outre de réduire à un minimum les périodes de soufflage, ce qui a comme conséquence un rendement sensiblement plus élevé des convertisseurs.

Le débit de l'air étant tout à fait régulier, on peut supprimer dans la tuyauterie les régulateurs d'air qui, ainsi qu'on le sait, sont à considérer dans le service des convertisseurs, comme des espaces nuisibles, car la pression doit, après chaque période de soufflage, être ramenée à zéro.

Pendant les périodes séparant les soufflages, la soufflante tourne à environ 800 tours par minute, presque à vide. Dès que le signal de la soufflerie est donné, la pression monte de  $1^{\text{k}},6$  à  $1^{\text{k}},9$  par centimètre carré en l'espace de 10 à 15 secondes.

Pour terminer le soufflage, la pression est portée jusqu'à 2 ou  $2^{\text{k}},5$  par centimètre carré en augmentant la vitesse. Au bout de 12 ou 15 minutes, l'opération est terminée et, dès le signal pour l'arrêt, la soufflante est ramenée à la vitesse de 800 tours.

La possibilité de régler le débit d'air en quantité parfaitement proportionnée est particulièrement intéressante, puisqu'elle permet d'effectuer l'opération sans aucun pompage au début.

### Ventilateurs.

Pour les fours à cuve d'une hauteur moyenne, soit 2 à 3 mètres entre la porte de chargement et le niveau des tuyères, n'ayant pas besoin d'une pression supérieure à  $0^{\text{m}},56$  ou  $0^{\text{m}},60$  d'eau, le soufflage se fait au moyen de ventilateurs.

On distingue deux sortes d'appareils de ce genre :

Les ventilateurs à force centrifuge, systèmes Farcof, Rateau, etc.;

Ceux à volume IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Ces appareils, très pratiques et peu coûteux, peuvent être commandés directement ou par courroie.

En Amérique, on préfère en général avoir pour chaque four un ventilateur actionné directement par une machine motrice, ce qui assure l'indépendance d'allure de chaque appareil. Cette disposition est à recommander dans les pays neufs, où le montage de ces petits engins est des plus faciles.

Il est cependant plus économique, quand on a plusieurs fours sous la même halle, de les souffler avec un seul et même ventilateur, actionné par une machine fixe à condensation.

Un four à Water Jacket de 1<sup>m</sup>,20 de diamètre, à six tuyères, passant 30 à 40 tonnes de lit de fusion par vingt-quatre heures, exige un ventilateur débitant 40 mètres cubes d'air par minute à la pression de 0<sup>m</sup>,50 d'eau, correspondant à une force d'environ 15 chevaux.

Pour une installation comportant plusieurs fours desservis par un même ventilateur, la force nécessaire est réduite à 10 chevaux.

### Utilisation des gaz de haut fourneau.

Nous en avons déjà décrit plus haut une application à propos de la commande des machines soufflantes, mais ce n'est là qu'un cas particulier. L'utilisation directe dans des moteurs à gaz se généralise de plus en plus : on obtient ainsi un rendement bien supérieur à celui de l'ensemble de la machine à vapeur et de la chaudière chauffée avec le gaz de haut fourneau. Le rendement thermique du moteur à gaz atteint aisément 20 0/0, ce qui correspond à une consommation par cheval-heure effectif d'environ 3<sup>m</sup>3,5 de gaz à 900 calories, tandis que, pour l'ensemble de la chaudière et de la machine à vapeur, le rendement peut varier, suivant la proportion de poussières et d'humidité contenue dans le gaz, entre 10 0/0 et 4 0/0, ce qui correspond à une consommation de 7 à 18 mètres cubes de gaz par cheval-heure effectif.

En admettant comme quantité de gaz de haut fourneau disponible (déduction faite des pertes et du gaz consommé par le chauffage du vent) un volume d'environ 2.500 mètres cubes par tonne de coke, soit de 55 0/0 du gaz total produit au gueulard (4.500 mètres cubes), et comme mise au mille de coke le chiffre plutôt faible de 1.000 kilogrammes, un calcul simple :

$$\frac{2.500 \times 900 \times 425}{75 \times 86.400} \times 0,20 = 29,5 \text{ chevaux-vapeur,}$$

montre que si tout le gaz disponible est employé à la production directe de force motrice, dans des moteurs d'un rendement thermique de 20 0/0, la puissance utile produite par tonne de coke est d'environ



30 ch. par tonne de fonte de production journalière. Un grand fourneau moderne de 200 tonnes équivaut ainsi à un gazogène de 6.000 chevaux.

Il va de soi que ces chiffres sont plus élevés dans le cas de fourneaux fabriquant des fontes spéciales (ferro-manganèse par exemple) avec une mise au mille de coke beaucoup plus considérable et un gaz notablement plus riche que dans les évaluations ci-dessus, qui ont seulement pour but d'établir en quelque sorte une moyenne minima pour l'ensemble des fourneaux français.

Lorsque le gaz est employé au chauffage de chaudières à vapeur, la puissance disponible peut varier (suivant le type et les conditions de fonctionnement de la machine à vapeur, mais surtout suivant la façon plus ou moins complète dont le gaz a été débarrassé par l'épuration de sa vapeur d'eau et de ses poussières) entre 6 et 15 chevaux par tonne de fonte de production journalière : c'est-à-dire entre le cinquième et la moitié de la puissance (30 chevaux) dont on disposerait avec des moteurs à gaz. L'augmentation de puissance réalisée par la substitution de moteurs aux chaudières utilisant le gaz de haut fourneau peut donc être au maximum, toujours par tonne de fonte de production journalière, de 24 chevaux si l'on transforme une vieille installation marchant avec du gaz sale et humide; mais elle peut n'être que d'une quinzaine de chevaux seulement dans le cas où l'usine dispose déjà d'une installation moderne de générateurs et machines à vapeur, alimentée de gaz convenablement épuré (0<sup>sr</sup>,5 de poussière par mètre cube).

D'autre part, les frais d'épuration supplémentaire que nécessite l'utilisation directe du gaz dans des moteurs sont relativement considérables, le gaz destiné aux moteurs ne devant pas contenir plus de 0<sup>sr</sup>,02 de poussières par mètre cube, tandis qu'une épuration à 0<sup>sr</sup>,5 est généralement considérée comme suffisante pour les chaudières (ainsi que pour les appareils Cowper).

Jusqu'à ces dernières années la sécurité de marche d'une installation de moteurs à gaz n'était réellement acquise qu'au prix de l'immobilisation d'une grosse puissance en réserve.

Aussi certains métallurgistes, mettant en balance les progrès réalisés par les turbines à vapeur, les avantages particuliers de ces machines pour la commande directe des dynamos, alternateurs et soufflantes centrifuges et leur sécurité de marche avec les inconvénients des moteurs à gaz, avaient-ils des raisons d'opter pour l'utilisation des gaz sous forme de vapeur.

Aujourd'hui l'hésitation n'est plus possible grâce à l'utilisation des gaz d'échappement des moteurs à gaz pour la production de vapeur.

Les moteurs à gaz marchent à charge constante dans des conditions de sécurité parfaites et avec un rendement calorifique maximum.



Les gaz d'échappement permettent de produire de la vapeur en grande quantité, augmentant encore le rendement des gaz recueillis.

La vapeur obtenue permet d'alimenter des turbo-générateurs à courant continu ou alternatif qui servent de groupes tampons sur le réseau de distribution de l'usine (1).

Enfin la solution du problème de la turbine à gaz est en voie de réalisation, un groupe de 5.000 kilowatts du type Holzwarth étant déjà construit et en essai par les ateliers Thyssen de Müllheim Ruhr.

Si cet essai donne les résultats qu'on en attend, c'est un nouvel essor dans l'utilisation des gaz dans les usines sidérurgiques.

La plus grande installation de moteurs à gaz dans le district du Nord était, en 1914, celle de l'usine de Valenciennes de la *Société des forges et aciéries du Nord et de l'Est*. Elle comprenait, en outre des trois soufflantes à gaz de 1.200 chevaux déjà installées, deux groupes électrogènes à gaz de 1.200 chevaux et deux groupes électrogènes de 3.000 chevaux. Les moteurs de 1.200 chevaux, aussi bien ceux des soufflantes que ceux des génératrices électriques, étaient du type à quatre temps, double effet, à deux cylindres, montés en tandem, de 1 mètre d'alésage. Pour les moteurs des soufflantes, la course était de 1<sup>m</sup>.400 et la vitesse de rotation de 60 à 80 tours par minute; pour ceux des groupes électrogènes, course de 1<sup>m</sup>.100 et vitesse de 100 tours par minute. Quant aux moteurs de 3.000 chevaux, ils devaient être du type quatre temps, double effet, à une ligne tandem et comporter deux cylindres de 1<sup>m</sup>.300 d'alésage et 1<sup>m</sup>.400 de course; vitesse normale, 94 tours; génératrices électriques, installées par la Société alsacienne de constructions mécaniques, calées directement sur l'arbre et fournissant du courant continu à 440 volts.

La centrale à gaz que la *Société des aciéries de Paris et d'Outreau* a installée dans son usine d'Outreau, près Boulogne, se présente dans des conditions spéciales, tant au point de vue de son alimentation en gaz combustible que de l'utilisation de la force motrice produite. Elle dispose à la fois de gaz de hauts fourneaux et de fours à coke, en quantité considérable par rapport à son tonnage de fonte, sa fabrication se composant en majeure partie de ferro-manganèse. D'autre part, l'usine ne transforme pas ses produits, abstraction faite d'une petite fonderie d'acier qui absorbe peu de force motrice. Son programme comporte donc essentiellement la vente à l'extérieur de l'énergie produite (en triphasé 5.000 volts) et dont la majeure partie sera consommée dans l'important centre industriel de Boulogne. La puissance totale de la centrale sera, dans quelques années, d'environ 10.000 chevaux, mais la première installation comprendra d'ores et déjà trois moteurs à gaz de 2.200 chevaux. Ce sont des moteurs du

(1) Voir la *Technique moderne*, t. XV, n° 11, 1923 et t. XVI, n° 7, 1924.

type quatre temps, double effet, à deux cylindres en tandem (alésage 1<sup>m</sup>,150, course 1<sup>m</sup>,300, vitesse normale 94 tours); l'un deux pourra fonctionner soit au gaz de haut fourneau, soit au gaz de four à coke; il ne différera des deux autres (pour gaz de haut fourneau) que par l'addition, entre le fond de cylindre et le cylindre, d'un élément de chambre destiné à augmenter le volume de la chambre d'explosion, c'est-à-dire à diminuer la compression.

La centrale électrique des hauts fourneaux de *Calais*, exécutée par la Société alsacienne de constructions mécaniques, comprend quatre groupes électrogènes de 1.000 chevaux; chaque groupe, du type quatre temps double effet, comporte deux cylindres à gaz de 0<sup>m</sup>,825 d'alésage montés en tandem (course 1<sup>m</sup>,100, vitesse normale de rotation 107 tours par minute). Le courant produit est du triphasé 5.000 volts, 50 périodes.

La centrale électrique des *Acieries de France*, à Isbergues, est également montée par la Société alsacienne de constructions mécaniques. Elle comprend deux groupes de 1.000 chevaux et trois groupes de 2.400 chevaux dont le premier a été mis en route au début de 1912. Tous ces moteurs sont du type quatre temps, double effet, à une ligne tandem, composée de deux cylindres à gaz. Les moteurs de 1.000 chevaux sont identiques, comme alésage et comme course, à ceux de Calais; quant à ceux de 2.400 chevaux, leur alésage est de 1<sup>m</sup>,200 et leur course de 1<sup>m</sup>,400. La vitesse de rotation est 100 tours pour tous ces moteurs; le courant produit est du continu 500 volts.

Il est intéressant de comparer ces installations de centrales électriques françaises avec elles qui se font à l'étranger, notamment en Allemagne. Prenons comme terme de comparaison une usine métallurgique des provinces rhénanes comprenant hauts fourneaux, aciéries, laminoirs, broyage des scories Thomas et services accessoires.

Les cinq hauts fourneaux de cette usine produisent de 1.800 à 2.000 tonnes de fonte par jour. L'énergie électrique produite doit fournir la force motrice nécessaire à tous les services, y compris les trains de laminoirs, ce qui peut représenter une dépense de 6.700.000 kilowatts-heure par mois.

Les gaz, après épuration, pour une capacité calorifique de 850 calories par mètre cube, coûtent 0,001.775 franc par mètre cube; on peut évaluer leur quantité à 4.500 mètres cubes par tonne de lingots, ce qui représente une production moyenne par heure de 340.000 mètres cubes; si on compte que la moitié est employée pour le chauffage des récupérateurs, il reste 170.000 mètres cubes par heure pour la production de la force motrice.

Le calcul indique une consommation de gaz de 100.000 mètres cubes par heure pour l'actionnement des dynamos génératrices et les machines soufflantes, de sorte qu'il restera encore 70.000 mètres cubes disponibles pour les autres services métallurgiques.

peut se passer de l'emploi de la vapeur, il est possible de brûler le gaz sous des chaudières et d'obtenir approximativement 55.000 kilogrammes de vapeur par heure. Toutefois, si l'aciérie n'est pas trop éloignée des hauts fourneaux, on pourrait employer les gaz à actionner les souffleries des convertisseurs, ce qui exigera 5.500 chevaux consommant 20.000 mètres cubes de gaz, il restera donc 50.000 mètres cubes pour faire de la vapeur pour les autres usages.

On voit donc que *le gaz produit par les hauts fourneaux suffit à produire toute la force motrice nécessaire à l'usine.*

Si, au lieu de servir de ce gaz dans des moteurs à explosion, on l'employait à produire de la vapeur pour actionner des turbines, on trouverait, par un calcul très simple, que la même puissance nécessiterait 104.300 mètres cubes de gaz, soit sensiblement le double de la quantité consommée par les moteurs à gaz ; la même observation s'applique au fonctionnement des souffleries par des turbines à vapeur.

De plus, si on tient compte des dépenses de service, on trouve qu'avec une centrale actionnée par des turbines à vapeur, les frais sont de 10 0/0 plus élevés qu'avec une centrale actionnée par des moteurs à gaz, de sorte que cette seconde solution doit être préférée, même si les dépenses d'établissement étaient les mêmes dans les deux cas, ce qui n'est pas, en réalité.

L'usine de Denain détruite pendant la guerre et en voie de reconstitution fonctionnera pendant le principe énoncé ci-dessus, soit moteurs à gaz à charge constante, turbines à vapeur alimentées par la vapeur produite par les gaz d'échappement des moteurs à gaz et servant de tampon.

Cette installation, qui est une des plus belles d'Europe par sa disposition d'ensemble, sa conception et sa puissance, comprend deux corps de bâtiments et 150 mètres de long sur près de 100 mètres de large.

L'un des corps de bâtiment, celui de la Station électrique, comporte sept groupes électrogènes à gaz de haut fourneau de 2.900 kilowatts chacun, tous interchangeable, trois turbo-alternateurs à vapeur de 4.800/6.000 kilowatts, deux turbo-alternateurs de 2.800/3.500 kilowatts, soit au total 40.300 à 45.300 kilowatts.

L'autre corps de bâtiment comporte cinq soufflantes à gaz de haut fourneau pouvant aspirer 1.200 mètres cubes de vent par minute chacune et refouler jusqu'à 1 kilogramme par centimètre carré ; deux soufflantes à vapeur à piston de 500 mètres cubes par minute chacune ; deux turbo-soufflantes à vapeur de 500 mètres cubes par minute devant servir à la mise en route de l'usine ou à l'utilisation de la vapeur produite par les chaudières sur gaz d'échappement des moteurs à gaz ; deux compresseurs d'air à 20 kilogrammes pour la mise en route des moteurs à gaz.



Entre les deux corps de bâtiment sont disposées dix-neuf chaudières avec surchauffeurs, placées sur les conduites d'échappement de chaque moteur à gaz (deux par alternateur, un par soufflante) et produisant de la vapeur à 13 kilogrammes.

Ces chaudières récupèrent 400 à 600 calories par cheval-heure développé au moteur à gaz suivant la température des gaz d'échappement, Elles alimentent les turbo-alternateurs de 2.800/3.500 kilowatts de façon à maintenir les moteurs à gaz à charge constante (voir figures pp. 66 et 67).

Cet ensemble est complété par huit chaudières multitubulaires de 480 mètres carrés timbrées à 20 kilogrammes avec surchauffeurs, économiseurs, réchauffeurs d'air, chauffées au gaz de haut fourneau et alimentant les trois groupes turbo-alternateurs de 4.800/6.000 kilowatts.

Les gaz utilisés représentent 400.000 mètres cubes de gaz brut à l'heure et le vent refoulé 480.000 mètres cubes heure.

L'ensemble de l'installation a été réalisé par la Société Alsacienne de construction mécanique les fumisteries spéciales des chaudières à 20 kilogrammes et des chaudières sur gaz d'échappement des moteurs à gaz par la Société Sidéfour.

La conception d'ensemble est d'avant-guerre. Actuellement on tendrait à prendre des moteurs plus puissants puisqu'on peut réaliser 5.000 kilowatts en deux cylindres.

### Épuration des gaz de haut fourneau.

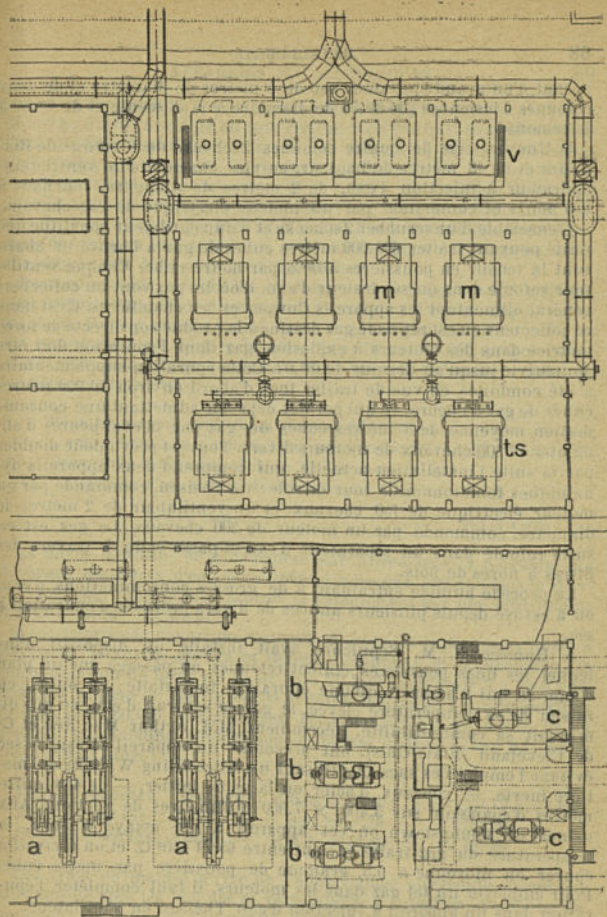
Cette épuration présente une importance capitale dans les usines métallurgiques qui utilisent le gaz pour la production directe de l'énergie dans des moteurs à explosion. On en a cité plusieurs exemples plus haut.

Voici, à titre d'exemple, comment s'effectuait cette opération à l'usine de Valenciennes de la Société des forges et aciéries du Nord et de l'Est, qui peut être citée comme un modèle.

La partie installée pouvait épurer 180.000 mètres cubes de gaz à l'heure, soit la production des quatre premiers fourneaux. L'impossibilité de renvoyer l'eau sale à l'Escaut canalisé nécessita la construction de bassins de décantation contenant une réserve d'eau de 10.000 mètres cubes et permettant de se servir de la même eau après décantation des boues et refroidissement. Ce service était assuré par deux pompes centrifuges pouvant refouler chacune 1.000 mètres cubes par heure, et commandées par deux moteurs électriques de 170 chevaux. L'épuration proprement dite comprenait les appareils ci-après :

« Au pied de chaque fourneau, des appareils préparateurs se com-





*b, b, b, c, c,* turbo-alternateurs à vapeur ;  
*ts,* turbo-soufflantes à vapeur ;  
*m, m,* compresseurs d'air pour mise en route ;  
*v,* chaudières à vapeur.



posant d'un grand épurateur sec de 5 mètres de diamètre et de deux colonnes silésiennes (de 3<sup>m</sup>,50 de diamètre à la descente et de 2<sup>m</sup>,50 à la remonte).

b. Une batterie de quatre colonnes Zschocke de 6 mètres de diamètre et de 18 mètres de hauteur, suivies chacune d'un ventilateur-épurateur à injection d'eau, de 2 mètres de diamètre, tournant à 60 tours et commandé par un moteur électrique de 250 chevaux.

L'ensemble d'un scrubber Zschocke et d'un ventilateur constitue une unité pouvant traiter 600.000 mètres cubes de gaz à l'heure et abaissant la teneur en poussières à 0<sup>sr</sup>,5 par mètre cube. Chaque ventilateur refoule dans un séparateur d'eau, d'où les gaz vont au collecteur général alimentant les appareils Cowper et les chaudières. C'est dans ce collecteur qu'est repris le gaz destiné à la production directe de force motrice dans des moteurs à explosion, gaz dont l'épuration doit être poursuivie jusqu'au-dessous de 0<sup>sr</sup>,02. Cette épuration supplémentaire a été combinée en vue de traiter tout d'abord environ 40.000 mètres cubes de gaz à l'heure, ce qui permet déjà (en admettant une consommation moyenne de 3 mètres cubes de gaz par cheval-heure) d'alimenter 13:300 chevaux de moteurs divers. Tout est prévu pour doubler par la suite l'installation actuelle, qui comprend deux appareils dynamiques fonctionnant à tour de rôle : un Theisen, commandé par un moteur électrique de 150 chevaux, et un ventilateur de 2 mètres de diamètre, commandé par un moteur de 300 chevaux. Le gaz est en suite refoulé dans un séparateur d'eau et passe enfin à travers des filtres à fibres de bois.

Le procédé humide entraînant à de grosses consommations d'eau, on a essayé depuis plusieurs années de divers procédés d'épuration à sec.

À Homécourt, M. Sépulchre avait installé un dispositif dans lequel les fines poussières étaient retenues au passage sur un plan d'eau, ce qui n'assurait qu'une épuration imparfaite; en outre, en raison de sa température élevée, le gaz se saturait d'eau, ce qui diminuait sa combustibilité. Récemment, MM. Arthur Mac Kee et C<sup>e</sup> de Cleveland (États-Unis), ont préconisé un appareil filtrant à sec évitant l'emploi des sacs et utilisant un filtre Kling-Widlein en matière inerte, — copeaux d'acier ou laine de laitier, — de 450 millimètres d'épaisseur sur 3.400 × 7.000 millimètres de section. Aux usines de Youngstown où cet appareil a été essayé d'abord, la température du gaz traité variant entre 65 et 430° C. et on arrivait à épurer en moyenne à 0,5 gramme de poussière par mètre cube. Pour employer un tel gaz dans les moteurs, il faut compléter l'épuration dans un appareil à injection d'eau Theisen ou ventilateur.

Un autre procédé s'est fait jour depuis peu de temps, c'est la méthode électrique Cottrell que M. Al. Gouvy définit ainsi : « un filtre invisible coloré ».

poussière traverse de bas en haut un tube métallique vertical relié à la terre ; un fil, une tige ou une chaîne bien centrés, suspendus dans l'axe du tube, sont traversés par un courant à haute tension de 50.000 volts en moyenne. Il se forme autour du fil un fort champ électrostatique, toutes les particules solides ou liquides contenues dans le gaz sont ionisées naturellement et précipitées contre les parois du tube où elles peuvent être recueillies à intervalles déterminés dans des sacs ou des trémies à vis sans fin, puis des wagons, ainsi que cela se fait déjà pour les filtres sacs.

Dans ce procédé, ce sont les dépenses de force motrice qui sont les plus importantes. Pour l'épuration humide au premier degré seulement, M. Gouvy avait calculé, pour une consommation de coke de 300 tonnes en vingt-quatre heures, fournissant 60.000 mètres cubes de gaz par heure, une consommation d'eau de 210 mètres cubes et les dépenses suivantes :

Pour les pompes centrifuges traitant 210 mètres cubes d'eau à raison de 0,2 kw. par mètre cube..	42,0 kwh
Pour trois ventilateurs Schiele de 70 chevaux à injection d'eau pulvérisée aux ouies.....	142,8 —
Soit en tout.....	184,8 kwh

La même quantité de gaz, épurée par filtres-sacs, a nécessité des dépenses moindres d'eau pour refroidir les gaz avant l'entrée dans les sacs ; par contre, pour aspirer et refouler ces gaz par ventilateur, il faut compter 134 kwh.

Avec le procédé électrique Cottrell, d'après les expériences faites à Bethleem avant la guerre et depuis à Dunbar et à Sheridan, la consommation de force serait de 15 à 20 kwh, soit de 18,7 à 25,0 kwh pour un volume de gaz de 76.000 à 85.000 mètres cubes, soit environ 20 kwh pour 60.000 mètres cubes. En estimant le kwh à 0 fr. 04, la dépense quotidienne d'épuration de 60.000 mètres cubes de gaz se comparerait ainsi :

<i>Méthode humide</i> :	184,8 kwh. $\times$ 0,04 = 7,40 p. h. = 177,50 p. 24 h
<i>Méthode par sac</i> :	134,0 — $\times$ 0,04 = 5,36 — = 128,64 —
<i>Procédé électrique</i> :	20,0 — $\times$ 0,04 = 0,80 — = 19,20 —

Les frais de main-d'œuvre de l'appareillage électrique, beaucoup plus simple que les pompes et ventilateurs à injection d'eau, ne dépasseront pas ceux de l'épuration par voie humide. Quant aux frais d'entretien, ils sont plus faibles avec le procédé « Cottrell » qu'avec le système des sacs. Les avantages du système Cottrell paraissent être les suivants : comparativement aux deux autres procédés :

1° Aucune perte de calorie lors de l'épuration, sauf celle due au rayonnement, tout refroidissement préalable étant inutile;

2° Suppression de l'énorme consommation d'eau pour refroidissement des autres procédés;

3° Suppression complète des boues inutilisables et encombrantes, des incrustations et stalactites, dans les conduites;

4° Suppression de l'action délétère des poussières sur les briques réfractaires des empilages et de la voûte des appareils à air chaud;

5° Récupération lucrative de la potasse soluble, surtout pour les hauts fourneaux en allure de ferro-manganèse;

6° Suppression des risques d'arrêt.

Toutefois à ce jour on considère que le procédé Cottrell ne donne pas une épuration suffisante pour la marche des moteurs à gaz. Une épuration complémentaire du type ancien est donc nécessaire pour permettre l'utilisation des gaz dans les moteurs à gaz.

L'épuration du gaz de haut fourneau donne un *résidu* susceptible d'une utilisation intéressante. Les *grosses poussières*, qui se déposent dans les premiers appareils épurateurs, constituent, en effet, un minerai à 35 0/0 environ de fer, tenant en outre 8 à 10 0/0 de carbone. Le *briquetage* de ces grosses poussières était pratiqué à l'usine de Denain; comme agglomérant, on employait soit 8 0/0 de chaux éteinte, soit 1 0/0 de chlorure de magnésium, mais le premier de ces deux procédés paraissait devoir être définitivement adopté. Le poids des briquettes variait de 4 à 6 kilogrammes. Il est à peine besoin de faire remarquer que, toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire pour un même prix de revient de briquetage et une même teneur en métal, l'utilisation des poussières de gaz est beaucoup plus intéressante dans le cas d'usines à fonte situées sur le combustible (district du Nord) que dans le cas d'usines à fonte situées sur le minerai (district de l'Est).

Quant à l'utilisation des *laitiers*, les usines du Nord ont trouvé jusqu'ici, après concassage ou granulation, suivant les cas, d'avantageux débouchés sous forme de ballast pour les voies ferrées, de macadams ou de pavés pour les routes, ou de sable pour diverses applications (ciment, briques blanches, etc., etc.).

### Appareils à chauffer l'air.

La température du vent varie beaucoup avec la nature des minerais :

Pour les hauts fourneaux au bois, on chauffe à 100 et 250°;

Pour les hauts fourneaux au coke, on chauffe à 400 et 800°.

1° Appareils à chauffer l'air. — Université Lille



ner aux appareils pour chauffer à 300° 1 mètre cube d'air par minute est de 0<sup>m</sup>,80 à 1 mètre carré.

La *vitesse de l'air* dans les tuyaux des appareils ne doit pas dépasser 10 à 14 mètres par seconde.

La *consommation de combustible* est, par mètre cube d'air à chauffer, de :

0<sup>kg</sup>,07 de bois environ;

0<sup>kg</sup>,035 de houille environ.

On emploiera, autant que possible, pour le chauffage des appareils, les gaz des fourneaux à souffler.

On trouvera, dans le tableau suivant, des dimensions d'*appareils à tuyaux en fonte* de construction assez récente à Königshütte (Haute-Silésie) :

	APPAREILS	
	à pistolet	à tuyaux suspendus
Nombre de tuyaux en fonte .....	52	36
Longueur des tuyaux .....	4 <sup>m</sup> ,47	4 <sup>m</sup> ,40
Surface de chauffe totale .....	239 <sup>m</sup> 2,3	186 <sup>m</sup> 2,3
Volume d'air total contenu dans l'appareil.	14 <sup>m</sup> 3,23	8 <sup>m</sup> 3,95
Capacité de la portion de l'appareil en contact avec le feu .....	9 <sup>m</sup> 3,83	6 <sup>m</sup> ,195
Longueur du parcours pendant lequel l'air est chauffé .....	21 <sup>m</sup> ,00	18 <sup>m</sup> ,00

2° *Appareils régénérateurs* : — Depuis 1860, on a appliqué avec succès les *régénérateurs Siemens* au chauffage de l'air.

Ces appareils consistent en deux appareils conjugués, enveloppés de tôle rivée, remplis de 11 à 16 assises de briques réfractaires disposées de manière à laisser entre elles de nombreux vides pour le passage de l'air. Tandis que l'un des appareils absorbe la chaleur d'un foyer de combustion, l'autre cède au vent la chaleur précédemment absorbée par les briques, le renversement du courant d'air se faisant au moyen de clapets. Comme foyer, on peut d'ailleurs prendre une *chauffe à combustible solide* ou bien un *appareil à gaz*.

La *chaleur spécifique* des briques réfractaires est de 0,2083; leur *poids spécifique* est de 1,8; la *chaleur spécifique* de l'air est de 0,2669, sa *densité* est de 0,001293. Les *capacités calorifiques* de volumes égaux de briques réfractaires et d'air sont donc entre elles comme  $\frac{0,2083}{1,8} : \frac{0,001293}{0,2669}$ , c'est-à-dire comme 0,37494 : 0,0003506.

Les *appareils Cowper-Siemens* construits avant 1900 pouvaient chauffer de 150 à 180 mètres cubes d'air par minute à la température de 700 à 800°. La chambre à briques avait 2<sup>m</sup> 40 de largeur sur 8 mètres

de hauteur, le rayon de la circonférence extérieure étant de 3<sup>m</sup>,45 et celui de la circonférence intérieure de 1<sup>m</sup>,05. La vitesse de l'air froid était de 1<sup>m</sup>,70 et celle de l'air chaud environ 5 mètres.

Un *appareil Whitwell* pouvait, à cette époque, chauffer 100 mètres cubes de vent par minute : ses dimensions étaient les suivantes :

Diamètre extérieur de la tour.....	6 <sup>m</sup> ,700
Hauteur de la tour.....	8 <sup>m</sup> ,700
Section du serpentín à l'entrée du vent froid.....	0 <sup>m</sup> 2,80 à 0 <sup>m</sup> 2,90
Section du serpentín à la sortie du vent chaud.....	2 <sup>m</sup> 2,50
Volume des briques composant les cloisons.....	60 <sup>m</sup> 3

Ces éléments étaient insuffisants pour faire face aux nécessités imposées par les grands hauts fourneaux qu'on construit actuellement.

Le vent qui alimente ces fourneaux est *chauffé* dans des *appareils Cowper* très élancés, bien différents des Whitwell de 8 mètres de hauteur employés en 1900. Leur hauteur varie entre 25 et 30 mètres, leur diamètre extérieur entre 6<sup>m</sup>,50 et 7 mètres. Les Cowper sont habituellement au nombre de quatre par haut fourneau (trois marchant au gaz et un au vent). L'installation des fourneaux 5 et 6 de Denain en comportait 9, dont 1 toujours en réserve, en nettoyage ou en réparation (un seul nettoyage par an). En outre, chacun de ces deux hauts fourneaux possédait un égaliseur de température de 22 mètres de hauteur et de 5 mètres de diamètre extérieur, que le vent chaud sortant d'un Cowper traversait avant d'arriver au fourneau, et grâce auquel la chute de température, du commencement à la fin d'une inversion, ne dépassait pas 25°.

La tendance actuelle est de réduire le nombre des appareils en service, en faisant un chauffage accéléré au moyen du soufflage. Ce procédé de soufflage combiné avec un mélange et un dosage précis du gaz et de l'air peut donner une économie de gaz combustible. Il en résulte donc un gain important tant sur les frais d'installations des hauts fourneaux que sur la force motrice disponible en gaz.

Le vent arrive habituellement aux tuyères à une température voisine de 750 ou 800°.

### III. — CONTRÔLE DES OPÉRATIONS THERMIQUES

---

#### PYROMÉTRIE, THERMOMÉTRIE, ANALYSEURS DE GAZ

La mesure des températures caractérisant les opérations métallurgiques et qui vont jusqu'à 1.300° (trempe des aciers à coupe rapide) et 1.600° (fours Martin) comporte l'emploi d'instruments dénommés *pyromètres*.

Les appareils pyrométriques industriels les plus répandus peuvent se classer de la façon suivante, d'après le principe de la méthode utilisée.

- 1° Méthode *calorimétrique*. (Exemple : calorimètre Siemens);
- 2° Méthode *thermo-électrique*. (Exemple : couples Le Chatelier);
- 3° Méthode *utilisant les radiations lumineuses*. (Exemples : pyromètre optique Le Chatelier, pyromètres Wanner, Shore, etc.);
- 5° Méthode *utilisant les radiations calorifiques*. (Exemples : lunette et télescope Féry);
- 6° Méthode *utilisant les phénomènes de fusion*. (Exemples : montres Seger, pyromètres sentinelles).

On peut citer aussi les méthodes *utilisant le retrait de certains produits* (antique pyromètre de Wegewood, la *variation de résistance électrique du platine* (appareils Siemens-Callendar).

Dans la *méthode calorimétrique*, on mesure la quantité de chaleur contenue dans un témoin en métal porté préalablement à la température que l'on veut mesurer. Ce témoin doit être naturellement infusible aux températures élevées, peu oxydable, et sans anomalies thermiques à haute température, enfin pas trop coûteux. Le nickel seul paraît répondre à ces conditions. Il est employé dans le calorimètre Siemens. Toutefois il ne permet pas de dépasser la température de 1.000°.

Les calorimètres de ce genre sont peu coûteux, simples et robustes, mais en revanche peu précis et ne permettant pas les mesures continues, ni l'enregistrement des températures.

La *méthode thermo-électrique* utilise la force électromotrice qui se produit par le chauffage à la soudure de deux métaux différents et qui varie avec la température. Elle a pour elle les avantages suivants :

Instruments de très faible encombrement, d'indication rapide et à



distance. On emploie comme couples le platine opposé au platine iridié ou rhodié (à 10 0/0 d'iridium ou de rhodium); tels sont les couples Le Chatelier qui permettent de mesurer jusqu'à 1.600°.

Pour les températures plus basses, on emploie :

1° Jusque vers 600°, les couples constantan-fer, constantan-argent ou mieux constantan-baros ;

2° Jusque à 700-750°, le couple CTE-BTE :

3° Jusque vers 1.000°, le couple ATE-BTE ; on emploie aussi les couples formés par le nickel opposé à un alliage comportant 60 0/0 de nickel et 10 0/0 de chrome ou alliages similaires, mais la courbe représentant la force électromotrice en fonction de la température présente vers 300° une incurvation due à l'anomalie du nickel.

Les alliages ATE, BTE et CTE sont composés de nickel, chrome, aluminium, etc., et fabriqués par les aciéries d'Imphy. ATE et CTE possèdent un pouvoir thermo-électrique négatif et BTE un pouvoir thermo-électrique positif, l'un et l'autre importants.

Pour les mesures avec ces instruments, on se sert d'un galvanomètre qui donne l'intensité  $I$  du courant produit par la force électromotrice  $E$  du couple, la résistance totale  $R$  du circuit étant considérée comme constante.

Les causes d'erreurs à éviter sont :

Mauvaise position du galvanomètre qu'on rectifie par le niveau ; variation de température de l'appareil qu'on évite en l'éloignant des fours ; mesure + de la température indiquée ; mauvais isolement des conducteurs ; altération des fils du couple et mauvais contact des extrémités des fils.

Le principe de la mesure des températures au moyen du rayonnement de la chaleur par un orifice du four, est utilisé dans les pyromètres Féry. La quantité de chaleur rayonnée par l'orifice d'un four ou par un corps noir est proportionnelle à la quatrième puissance de la température absolue ( $t^{\circ} + 273^{\circ}$ ) du corps noir du four. Pour les mesures, on concentre les radiations, soit par une lentille (lunette Féry), soit par un miroir concave (télescope Féry) sur un couple thermo-électrique, d'après l'échauffement duquel on calcule la température de la source calorifique. Avec le télescope, on peut mesurer de façon assez précise les températures descendant jusqu'à 600°.

Les causes d'erreurs peuvent être : une mauvaise utilisation du pyromètre en tant que champ de l'instrument, lorsque l'image de la surface chaude observée est plus petite que le centre de la croisée du réticule formée par les fils du couple ; l'élévation de température de l'appareil due à la proximité du four ; les diverses causes signalées plus haut et provenant de l'emploi du galvanomètre ; l'altération de la surface du miroir dans le cas du télescope ; enfin la variation du pouvoir émissif des sources de chaleur suivant la nature du corps chaud.

Les radiations lumineuses ont été employées probablement de tout temps pour apprécier approximativement la température des corps chauds placés dans l'obscurité. En effet, l'intensité de ces variations croit avec la température, mais cet accroissement n'est pas le même pour les diverses radiations. L'échelle lumineuse de Pouillet, reproduite ci-après, indique les températures approximatives correspondant aux couleurs observées :

Rouge sombre naissant.....	500°	(visible dans l'obscurité)
— sombre naissant avancé.....	550°	—
— très sombre.....	600°	—
— sombre.....	650°	—
— sombre avancé.....	700°	—
— sombre très avancé.....	750°	—
— cerise naissant.....	800°	—
— cerise sombre (ou tendre)....	850°	—
— cerise.....	900°	—
— cerise clair.....	950°	(visible en plein jour)
— cerise très clair.....	1.000°	—
Jaune orangé.....	1.050°	—
— (ou orange foncé).....	1.100°	—
— clair.....	1.150°	—
— très clair (ou orange clair)....	1.200°	—
Blanc.....	1.300°	—
— soudant (ou éclatant).....	1.400°	—
— éblouissant.....		

Pour les températures plus basses, l'appréciation se fait par les couleurs dites de revenu ou d'oxydation du métal, ou par l'emploi du bois. En voici le tableau.

### Couleurs de revenu.

(Désignation et températures indiquées, variables suivant les origines).

#### 1° Exemple d'échelle.

#### 2° Exemple d'échelle.

Jaune.....	215°
Paille.....	230°
Orangé.....	245°
Brun.....	255°
Gorge de pigeon.....	265°
Pourpre violet.....	275°
Indigo clair.....	290°
Indigo foncé.....	295°
Indigo très foncé.....	315°-320°
Vert foncé.....	330°-350°
Gris noir.....	400°-450°

Jaune paille clair.....	220°
Jaune paille foncé.....	230°
Ambre.....	245°
Gorge de pigeon.....	255°
Lilas.....	265°
Violet foncé.....	275°
Bleu indigo.....	280°
Bleu ordinaire.....	295°
Bleu pâle.....	315°
Vert d'eau.....	330°
Gris noir.....	400°

Bois glissant.....	400°
Bois fumant.....	450°
Bois étincelant.....	500°
Bois flambant.....	550°

Le grave inconvénient de ce procédé de mesure est de reposer uniquement sur l'appréciation de l'observateur et, par conséquent, de varier d'un individu à l'autre.

Pour donner à ce mode d'observation la précision scientifique qui lui manque, on a imaginé des pyromètres optiques évaluant la température soit d'après l'intensité d'une radiation de couleur déterminée, c'est-à-dire de longueur d'onde très exactement connue, soit par la mesure de l'intensité relative de radiation de longueur d'onde déterminée.

De la première méthode relèvent les pyromètres optiques de Le Chatelier, de Féry, de Wanner, de Holborn et Kurlbaum.

De la seconde, les pyromètres de Mesuré et Nouel et de Crova, ces derniers peu employés.

Les pyromètres Le Chatelier, Féry, sont basés sur le principe du photomètre,

Celui de Wanner compare, par examen à travers un nicol, la même région rouge de deux spectres polarisés à angle droit : celui de la source de chaleur et celui de la lampe de comparaison.

Dans le pyromètre de Holborn et Kurlbaum, on fait varier l'intensité du courant d'une lampe à incandescence de manière à observer, en lumière monochromatique, sur l'image de la source lumineuse, la disparition du filament. La température du four est alors égale à celle du filament ; cette dernière se déduit de la connaissance de l'intensité du courant qui passe.

Les phénomènes de fusion sont utilisés comme il a été indiqué déjà à propos de la fusibilité des cendres dans les montres de Seger. Ce sont de petites pyramides triangulaires de 15 millimètres de côté et 50 millimètres de hauteur constituées par des mélanges, en proportions variables, de sable quartzéux, feldspath, carbonate de chaux et kaolin. Sous l'action de la chaleur, les pyramides se ramollissent, se contractent d'abord sans changer de forme, s'inclinent et finalement se courbent, la pointe se tournant vers la base. On dit que la montre est tombée quand elle est à moitié courbée, la pointe tournée vers le bas.

L'échelle ancienne des montres comporte cinquante-huit numéros allant par ordre décroissant de 38 à 1, — 38 correspondant à la température de 1.890° —, puis de 0,1 à 0,9 et de 0,010 à 0,022, cette dernière correspondant à 590°. Depuis la guerre on fabrique en France des montres décimales françaises dont le numéro suivi d'un 0 indique le degré approximatif de chute, c'est-à-dire la température pour



aquelle la montre est tombée. Cependant le point de chute varie avec la rapidité d'échauffement, en sorte que les résultats obtenus avec les montres ne sont valables que pour une même allure du four. Les montres de Seger sont surtout utilisées en céramique.

Dans le même ordre d'idées, on emploie pour mesurer certaines températures le point de fusion de sels purs ou de mélanges eutectiques de ces sels, notamment :

	Température de fusion.
Sulfate de potassium.....	1.070°
Chlorure de baryum.....	955°
Carbonate de sodium.....	850°
Chlorure de sodium.....	800°
Chlorure de potassium.....	730°

Brearley a utilisé pour le contrôle des traitements thermiques les fusibles dans les pyromètres sentinelles. Ce sont des prismes de 20 millimètres environ, fusibles à des températures déterminées et se resolidifiant dès que la température baisse. On les utilise dans des appareils avertisseurs à sonnerie électrique.

La résistance électrique des métaux, variable avec la température, est également mise à profit pour l'évaluation de cette température. Le pyromètre Siemens-Callendar consiste en une spirale de platine enfermée dans un tube étanche de platine ou de porcelaine et dont on détermine la résistance électrique à l'aide d'un pont de Wheatstone. C'est l'appareil le plus précis dont on dispose actuellement pour déterminer les températures entre 500 et 1.500°, mais c'est surtout un appareil de laboratoire.

**Conversion des températures Fahrenheit en centigrades et réciproquement.** — Les techniciens qui ont à faire usage de données expérimentales de thermométrie publiées dans des documents de langue anglaise, sont souvent obligés à des calculs fastidieux pour convertir les degrés Fahrenheit en degrés centigrades et *vice-versa*. Nous croyons donc leur rendre service en publiant, avec l'autorisation de son auteur, le professeur Albert Sauveur, la table de conversion ci-après.

**Analyseurs de gaz.** — Les opérations de chauffe sont complétées par les analyses des gaz de la combustion qui permettent de vérifier le réglage.

Un excès d'oxygène ou d'oxyde de carbone indique une combustion complète ou non.

Ces analyses se font automatiquement maintenant par des analyseurs de gaz qui se répandent de plus en plus.

### TABLE DE CONVERSION DES TEMPÉRATURES FAHRENHEIT EN CENTIGRADES ET VICE-VERSA

**Mode d'emploi de la table.** — Cette table permet, étant donné une température lue dans l'une quelconque des échelles, de trouver immédiatement son équivalent dans l'échelle opposée. A cet effet, on cherchera cette température dans la colonne médiane, en chiffres gras, et on lira la température équivalente dans la colonne marquée C, à gauche, ou F, à droite, suivant le cas.

Supposons que nous ayons à convertir en degrés centigrades la température de 1.230° Fahrenheit. Nous chercherons dans la colonne en chiffres gras de la section 1.000 à 2.000 du tableau, la chiffre 1.230, en regard duquel nous lirons à gauche (colonne C) la température centigrade correspondante : 666°.

Au contraire, si nous voulons chercher l'équivalent en Fahrenheit de la température centigrade 1.230°, nous prendrons le chiffre placé à droite (colonne F) du nombre gras 1.230, soit 2.246°.

**Facteurs d'interpolation.** — On remarquera que le tableau ne donne les températures que de 10° en 10°. Un petit tableau annexe disposé de la même façon permet d'établir la correspondance des températures à une unité près.

-459,4 À 0						
C.	F.	C.	F.	C.	F.	
-273	<b>-459,4</b>	-184	<b>-300</b>	-101	<b>-150</b>	-238
-268	<b>-450</b>	-179	<b>-290</b>	-95,6	<b>-140</b>	-220
-262	<b>-440</b>	-173	<b>-280</b>	-90,0	<b>-130</b>	-202
-257	<b>-430</b>	-169	<b>-273</b>	-84,4	<b>-120</b>	-184
-251	<b>-420</b>	-168	<b>-270</b>	-78,9	<b>-110</b>	-166
-246	<b>-410</b>	-162	<b>-260</b>	-73,3	<b>-100</b>	-148
-240	<b>-400</b>	-157	<b>-250</b>	-67,8	<b>-90</b>	-130
-234	<b>-390</b>	-151	<b>-240</b>	-62,2	<b>-80</b>	-112
-229	<b>-380</b>	-146	<b>-230</b>	-56,7	<b>-70</b>	-94
-223	<b>-370</b>	-140	<b>-220</b>	-51,1	<b>-60</b>	-76
-218	<b>-360</b>	-134	<b>-210</b>	-45,6	<b>-50</b>	-58
-212	<b>-350</b>	-129	<b>-200</b>	-40,0	<b>-40</b>	-40
-207	<b>-340</b>	-123	<b>-190</b>	-34,4	<b>-30</b>	-22
-201	<b>-330</b>	-118	<b>-180</b>	-28,9	<b>-20</b>	-4
-196	<b>-320</b>	-112	<b>-170</b>	-23,3	<b>-10</b>	14
-190	<b>-310</b>	-107	<b>-160</b>	-17,8	<b>0</b>	32

O À 100

C.		F.		C.		F.		C.		F.	
-17.8	0	32	1.11	34	93.2	20.0	68	154.4			
-17.2	1	33.8	1.67	35	95.0	20.6	69	156.2			
-16.7	2	35.6	2.22	36	96.8	21.1	70	158.0			
-16.1	3	37.4	2.78	37	98.6	21.7	71	159.8			
-15.6	4	39.2	3.33	38	100.4	22.2	72	161.6			
-15.0	5	41.0	3.89	39	102.2	22.8	73	163.4			
-14.4	6	42.8	4.44	40	104.0	23.3	74	165.2			
-13.9	7	44.6	5.00	41	105.8	23.9	75	167.0			
-13.3	8	46.4	5.56	42	107.6	24.4	76	168.8			
-12.8	9	48.2	6.11	43	109.4	25.0	77	170.6			
-12.2	10	50.0	6.67	44	111.2	25.6	78	172.4			
-11.7	11	51.8	7.22	45	113.0	26.1	79	174.2			
-11.1	12	53.6	7.78	46	114.8	26.7	80	176.0			
-10.6	13	55.4	8.33	47	116.6	27.2	81	177.8			
-10.0	14	57.2	8.89	48	118.4	27.8	82	179.6			
- 9.44	15	59.0	9.44	49	120.2	28.3	83	181.4			
- 8.89	16	61.8	10.0	50	122.0	28.9	84	183.2			
- 8.33	17	63.6	10.6	51	123.8	29.4	85	185.0			
- 7.78	18	65.4	11.1	52	125.6	30.0	86	186.8			
- 7.22	19	67.2	11.7	53	127.4	30.6	87	188.6			
- 6.67	20	68.0	12.2	54	129.2	31.1	88	190.4			
- 6.11	21	69.8	12.8	55	131.0	31.7	89	192.2			
- 5.56	22	71.6	13.3	56	132.8	32.2	90	194.0			
- 5.00	23	73.4	13.9	57	134.6	32.8	91	195.8			
- 4.44	24	75.2	14.4	58	136.4	33.3	92	197.6			
- 3.89	25	77.0	15.0	59	138.2	33.9	93	199.4			
- 3.33	26	78.8	15.6	60	140.0	34.4	94	201.2			
- 2.78	27	80.6	16.1	61	141.8	35.0	95	203.0			
- 2.22	28	82.4	16.7	62	143.6	35.6	96	204.8			
- 1.67	29	84.2	17.2	63	145.4	36.1	97	206.6			
- 1.11	30	86.0	17.8	64	147.2	36.7	98	208.4			
- 0.56	31	87.8	18.3	65	149.0	37.2	99	210.2			
0	32	89.6	18.9	66	150.8	37.8	100	212.0			
0.56	33	91.4	19.4	67	152.6						



100 À 1000								
C.	F.	C.	F.	C.	F.			
38	100	212	204	400	752	377	710	1310
43	110	230	210	410	770	382	720	1328
49	120	248	216	420	788	388	730	1346
54	130	266	221	430	806	393	740	1364
60	140	284	227	440	824	399	750	1382
66	150	302	232	450	842	404	760	1400
71	160	320	238	460	860	410	770	1418
77	170	338	243	470	878	416	780	1436
82	180	356	249	480	896	421	790	1454
88	190	374	254	490	914	427	800	1472
93	200	392	260	500	932	432	810	1490
99	210	410	266	510	950	438	820	1508
100	212	413	271	520	968	443	830	1526
104	220	428	277	530	986	449	840	1544
110	230	446	282	540	1004	454	850	1562
116	240	464	288	550	1022	460	860	1580
121	250	482	293	560	1040	466	870	1598
127	260	500	299	570	1058	471	880	1616
132	270	518	304	580	1076	477	890	1634
138	280	536	310	590	1094	482	900	1652
143	290	554	316	600	1112	488	910	1670
149	300	572	321	610	1130	493	920	1688
154	310	590	327	620	1148	499	930	1706
160	320	608	332	630	1166	504	940	1724
166	330	626	338	640	1184	510	950	1742
171	340	644	343	650	1202	516	960	1760
177	350	662	349	660	1220	521	970	1778
182	360	680	354	670	1238	527	980	1796
188	370	698	360	680	1256	532	990	1814
193	380	716	366	690	1274	538	1000	1832
199	390	734	371	700	1292			

## FACTEURS D'INTERPOLATION

C.	F.	C.	F.	C.	F.	
0,56	1	1,8	2,78	5	9,0	
1,11	2	3,6	3,33	6	10,8	
1,67	3	5,4	3,89	7	12,6	
2,22	4	7,2	4,44	8	14,4	
				5,00	9	16,2
				5,56	10	18,0

1000 À 2000

C.	F.	C.	F.	C.	F.			
538	1000	1832	727	1340	2444	916	1680	3056
543	1010	1850	732	1350	2462	921	1690	3074
549	1020	1868	738	1360	2480	927	1700	3092
554	1030	1886	743	1370	2498	932	1710	3110
560	1040	1904	749	1380	2516	938	1720	3128
566	1050	1922	754	1390	2534	943	1730	3146
571	1060	1940	760	1400	2552	949	1740	3164
577	1070	1958	766	1410	2570	954	1750	3182
582	1080	1976	771	1420	2588	960	1760	3200
588	1090	1994	777	1430	2606	966	1770	3218
593	1100	2012	782	1440	2624	971	1780	3236
599	1110	2030	788	1450	2642	977	1790	3254
604	1120	2048	793	1460	2660	982	1800	3272
610	1130	2066	799	1470	2678	988	1810	3290
616	1140	2084	804	1480	2696	993	1820	3308
621	1150	2102	810	1490	2714	999	1830	3326
627	1160	2120	816	1500	2732	1004	1840	3344
632	1170	2138	821	1510	2750	1010	1850	3362
638	1180	2156	827	1520	2768	1016	1860	3380
643	1190	2174	832	1530	2786	1021	1870	3398
649	1200	2192	838	1540	2804	1027	1880	3416
654	1210	2210	843	1550	2822	1032	1890	3434
660	1220	2228	849	1560	2840	1038	1900	3452
666	1230	2246	854	1570	2858	1043	1910	3470
671	1240	2264	860	1580	2876	1049	1920	3488
677	1250	2282	866	1590	2894	1054	1930	3506
682	1260	2300	871	1600	2912	1060	1940	3524
688	1270	2318	877	1610	2930	1066	1950	3542
693	1280	2336	882	1620	2948	1071	1960	3560
699	1290	2354	888	1630	2966	1077	1970	3578
704	1300	2372	893	1640	2984	1082	1980	3596
710	1310	2390	899	1650	3002	1088	1990	3614
716	1320	2408	904	1660	3020	1093	2000	3632
721	1330	2426	910	1670	3038			

FACTEURS D'INTERPOLATION.

C.	F.	C.	F.	C.	F.			
0.56	1	1.8	2.78	5	9.0	5.00	9	16.2
1.11	2	3.6	3.33	6	10.8	5.56	10	18.0
1.67	3	5.4	3.89	7	12.6			
2.22	4	7.2	4.44	8	14.4			

## 2000 À 3000

C.	F.	C.	F.	C.	F.			
1093	2000	3632	1282	2340	4244	1471	2680	4856
1099	2010	3650	1288	2350	4262	1477	2690	4874
1104	2020	3668	1293	2360	4280	1482	2700	4892
1110	2030	3686	1299	2370	4298	1488	2710	4910
1116	2040	3704	1304	2380	4316	1493	2720	4928
1121	2050	3722	1310	2390	4334	1499	2730	4946
1127	2060	3740	1316	2400	4352	1504	2740	4964
1132	2070	3758	1321	2410	4370	1510	2750	4982
1138	2080	3776	1327	2420	4388	1516	2760	5000
1143	2090	3794	1332	2430	4406	1521	2770	5018
1149	2100	3812	1338	2440	4424	1527	2780	5036
1154	2110	3830	1343	2450	4442	1532	2790	5054
1160	2120	3848	1349	2460	4460	1538	2800	5072
1166	2130	3866	1354	2470	4478	1543	2810	5090
1171	2140	3884	1360	2480	4496	1549	2820	5108
1177	2150	3902	1366	2490	4514	1554	2830	5126
1182	2160	3920	1371	2500	4532	1560	2840	5144
1188	2170	3938	1377	2510	4550	1566	2850	5162
1193	2180	3956	1382	2520	4568	1571	2860	5180
1199	2190	3974	1388	2530	4586	1577	2870	5198
1204	2200	3992	1393	2540	4604	1582	2880	5216
1210	2210	4010	1399	2550	4622	1588	2890	5234
1216	2220	4028	1404	2560	4640	1593	2900	5252
1221	2230	4046	1410	2570	4658	1599	2910	5270
1227	2240	4064	1416	2580	4676	1604	2920	5288
1232	2250	4082	1421	2590	4694	1610	2930	5306
1238	2260	4100	1427	2600	4712	1616	2940	5324
1243	2270	4118	1432	2610	4730	1621	2950	5342
1249	2280	4136	1438	2620	4748	1627	2960	5360
1254	2290	4154	1443	2630	4766	1632	2970	5378
1260	2300	4172	1449	2640	4784	1638	2980	5396
1266	2310	4190	1454	2650	4802	1643	2990	5414
1271	2320	4208	1460	2660	4820	1649	3000	5432
1277	2330	4226	1466	2670	4838			

## FACTEURS D'INTERPOLATION

C.	F.	C.	F.	C.	F.			
0.56	1	1.8	2.78	5	9.0	5.00	9	16.2
1.11	2	3.6	3.33	6	10.8	5.56	10	18.0
1.67	3	5.4	3.89	7	12.6			
2.22	4	7.2	4.44	8	14.4			



## IV. — MÉTALLURGIE DU FER

## I. — FABRICATION DE LA FONTE

## Minerais de fer.

Le tableau suivant donne la composition et la teneur en fer des principaux minerais :

	Formule.	Teneur en fer maxima.
Protoxyde de fer.....	FeO	0,778
Fer oxydulé. Oxyde magnétique.....	FeO.Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,724
Peroxyde de fer anhydre.....	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,700

Fer oligiste. — Fer spéculaire. — Fer micacé. — Minerais violets.  
— Hématite rouge. — Fer oxydé rouge. — Fer oolithique rouge.

Peroxyde de fer hydraté.....	2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 3H <sub>2</sub> O	0,600
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2H <sub>2</sub> O	0,571

Hématite brune. — Fer hydraté en roche. — Minerais ferreux. — Minerais cloisonnés. — Limonite. — Minerais en grains. — Fer oolithique brun.

Fer carbonaté.....	CO <sub>3</sub> Fe	0,483
--------------------	--------------------	-------

Fer spathique. — Fer carbonaté des houillères. — Minerai bitumineux. — Fer carbonaté oolithique.

Les minettes oolithiques de Lorraine dont on connaît l'importance majeure, alimentent non seulement l'industrie sidérurgique très importante de la Meurthe-et-Moselle, mais aussi la région du Nord.

Le minerai lorrain contient 35 à 40% de fer avec 0,5 à 0,8 de phosphore: il forme la base des lits de fusion pour fonte Thomas.

La Normandie, dont la production en minerai de fer va croissant rapidement, exploite des minerais de fer spathiques, qui, après grillage (voir plus loin), donnent un excellent minerai, facile à fondre, très employé par les hauts fourneaux du nord de la France.

Les minerais étrangers sont de diverses sortes :

Minerais riches et purs de Bilbao et d'Algérie pour fontes hématites; magnétites pures ou phosphoreuses de Suède; minerais manganésés des Indes, du Brésil, de Russie, de Grèce, etc.

On commence à se préoccuper, comme source future, des latérites ferrugineuses de la côte d'Afrique (contiennent du titane).

Enfin, on consomme des quantités considérables de scories diverses (puddlage, Martin et surtout réchauffage) ainsi que des résidus de grillage de pyrites provenant des usines de produits chimiques. Ces résidus, agglomérés sous forme de briquettes solides, constituent un bon minerai d'enrichissement du lit de fusion, attendu qu'ils contiennent jusqu'à 64 0/0 de fer avec une teneur en soufre pouvant aller à 1,5 0/0 ou plus, ce qui n'offre pas d'inconvénient en allure chaude et avec un laitier suffisamment basique.

Quant aux scories de réchauffage, qui tiennent de 48 à 53 0/0 de fer et de 30 à 25 0/0 de silice, elles entrent jusqu'à concurrence de 20 0/0 et au delà dans les lits de fusion de certains hauts fourneaux marchant en fonte de puddlage.

Les *gangues* habituelles sont le quartz, le carbonate de chaux, la dolomie, l'argile et la marne.

Les *gangues les plus nuisibles* sont le gypse, l'apatite, la baryte et toutes les matières sulfureuses arsenicales ou phosphoreuses, sauf dans la fabrication des fontes pour aciers basiques où une teneur élevée en phosphore est au contraire exigée.

Les *minerais les plus recherchés* sont les minerais manganésifères.

### Calcination et grillage des minerais.

La *calcination* est employée pour fissurer des minerais trop compacts et chasser l'élément volatil :  $H_2O$ ,  $CO_2$ , bitumes, etc.

Le *grillage* est employé pour oxyder les minerais sulfurés.

La *calcination* ou le *grillage* se font :

En *tas* de 1 à 3 mètres de hauteur sur 6 à 11 mètres de largeur et 40 à 60 mètres de longueur ;

En *stalles* de 2 à 3<sup>m</sup>,8 de hauteur, sur 4 mètres de largeur et 6 à 7 mètres de longueur, avec ouvertures de 16 centimètres carrés ménagées à 0<sup>m</sup>,60 les unes des autres.

Le grillage de 1 mètre cube de minerai exige environ 50 kilogrammes de houille ;

En *fours à cuve* de 2 à 15 mètres de hauteur sur 3 à 6 mètres de diamètre. Dans ces fours, 1 tonne de charbon de bois ou de coke permet de calciner 20 à 30 tonnes de minerai ; 1 tonne de houille maigre ou d'anhracite suffit pour 5 à 10 tonnes de minerai.

On a réussi à griller les minerais normands dans des fours de ce type avec une consommation de 1 à 1,5 0/0 de fines d'anhracite ou de résidus de coke.

Le grillage complet de :

100 parties de $\text{CO}_3\text{Fe}$ donnent 69,0 $\text{Fe}_2\text{O}_3$	} Les minerais grillés repren- nent à l'air de 2 à 6 0/0 d'eau.
$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ — 85,7 —	
$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — 81,6 —	

En *four à soles tournantes* ou à *soles fixes avec râblage automatique*, très employés en Amérique.

Dans tous ces grillages, il faut éviter avec grand soin la *scorification* du minéral.

Les *frais de grillage* s'élèvent à environ :

0 <sup>f</sup> ,88 dans le grillage en tas,	
0 <sup>f</sup> ,30 dans le grillage en fours,	
0 <sup>f</sup> ,20 — — —	avec râblage automatique.

### Cassage du minéral.

Au *marteau*, un homme casse dans une journée de douze heures :

2 à 2 tonnes et demie de minéral dur ;

2 tonnes et demie à 3 tonnes de minéral moyennement dur ;

3 à 5 tonnes de minéral tendre.

Au *concasseur*, on peut, avec une force de 5 à 10 chevaux, casser 5 tonnes par heure.

### Préparation du lit de fusion.

La *teneur moyenne* en fer des matières chargées dans le haut fourneau doit être comprise, en général, entre 25 et 45 0/0.

Les *minerais* tenant moins de 20 0/0 ne peuvent être utilisés qu'autant que leur gangue est un fondant.

Le *laitier* doit être :

Pour les hauts fourneaux au bois (maintenant presque disparus) un *bisilicate*, et, pour les hauts fourneaux au coke, un *protosilicate* de chaux et d'alumine, à cause du soufre du coke ;

Pour des minerais très *alumineux*, viser à des *protosilicates* ; à des *bisilicates*, pour des minerais manganésifères.

En gros, voici la composition qu'on cherchera à obtenir pour le laitier :

NATURE DE FONTE A PRODUIRE	SiO <sub>2</sub> .	CaO.MnO.
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et S.	MgO.FeO.KO.
Fonte ordinaire.....	60 0/0	40 0/0
Fonte de forge et de fonderie.....	50 0/0	50 0/0
Spiegeleisen et fonte à grands cristaux avec des minerais riches en manganèse.....	45 0/0	45 0/0



On a réuni dans le tableau suivant la composition des laitiers dans quelques cas fréquents :

	MINÉRAIS peu alumineux.	MINÉRAIS alumineux.	MINÉRAIS très alumineux.	MINÉRAIS spathiques.
SiO <sub>2</sub>	37	32 à 36	41	54 à 55
CaO	50	36 à 68	34	23 à 24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10	20 à 28	22	1 à 3
MgO	} 3	5 à 10	3	} 13 à 15
MnO, FeO, etc.				

Pour des *minerais alumineux*, on ajoutera :

Du *calcaire*, qui contient environ 56 0/0 de CaO ;

De la *dolomie*, qui contient 45,8 0/0 de CaO et MgO ;

Pour des *minerais calcaires*, on ajoutera :

De la *bauxite*, qui contient 35 à 70 0/0 d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ;

De l'*argile*, qui contient 10 à 20 0/0 d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et 40 à 70 0/0 de SiO<sub>2</sub>.

Les *scories de forge* qu'on introduit dans le lit de fusion des fontes de puddlage.

8 à 36 0/0 de silice et 50 à 60 0/0 d'oxyde de fer. Il importe de ne pas en introduire plus de 4 à 5 0/0.

Le *combustible* à charger par tonne de fonte sera :

En *charbon de bois*, 600 à 1.200 kilogrammes ;

En *coke*, 900 à 1.600 kilogrammes ;

En *houille crue*, 1.500 à 2.300 kilogrammes.

### Rendement du lit de fusion.

Ce rendement, qui n'est autre chose que le rapport du poids de la fonte produite au poids des minerais et fondants consommés, diffère assez notablement suivant les allures et les fabrications. En affinage ou en Thomas, il varie entre 30 et 36 0/0 : en hématite, entre 40 et 45 0/0. La *mise au mille de coke* oscille, suivant la nature de la fonte et la richesse du lit de fusion, entre 1.000 et 1.200 kilogrammes (en laissant naturellement de côté la fabrication des fontes spéciales).

Dans les hauts fourneaux du Nord, le coke employé provient en majeure partie des mines du département du Pas-de-Calais ; il est assez cendreux (12 0/0 de cendres en moyenne sur coke lavé, 15 0/0 sur coke non lavé), mais relativement peu sulfureux (0,8 à 1 0/0 de S). Sa teneur en eau varie habituellement entre 3 et 5 0/0.

Ce n'est qu'exceptionnellement que les usines métallurgiques du Nord ont recours aux cokes étrangers. Quelques-unes (Denain, Isbergues, Outreau, Calais) fabriquent elles-mêmes partie ou totalité du coke qu'elles consomment. On sait que la Société de Denain et Anzin utilise en outre les fours à coke de sa houillère d'Azincourt. Les usines d'Outreau et de Calais qui ne comportent pas d'aciérie

(sinon une petite fonderie d'acier à Outreau), disposent, avec les gaz de leurs fours à coke et de leurs hauts fourneaux, d'un excédent considérable de combustible pour la production de l'énergie.

### Hauts fourneaux.

**Fondations.** — La largeur des *fondations des hauts fourneaux* est en général égale :

A leur hauteur, dans les fourneaux ordinaires ;

Aux deux tiers de cette hauteur, dans les fourneaux très élevés ;

A la moitié de cette hauteur, dans les fourneaux à enveloppe métallique.

**Maçonnerie réfractaire.** — L'intérieur du haut fourneau est entièrement constitué par des briques réfractaires dont la longueur est de

0<sup>m</sup>,220 à 0<sup>m</sup>,420 au gueulard ;

0<sup>m</sup>,310 à 0<sup>m</sup>,470 au ventre ;

0<sup>m</sup>,809 à 0<sup>m</sup>,940 dans les hauts fourneaux du système Büttgenbach, au ventre ;

1 mètre environ au creuset.

**Massif extérieur.** — Le profil intérieur étant déterminé, le *massif extérieur* sera limité par une ligne parallèle aux parois de la cuve, menée à 1<sup>m</sup>,20 de sa paroi extérieure. On laissera entre les deux massifs un jeu pour la dilatation.

De fortes *armatures* consolideront toute la construction.

**Tuyères.** — Les tuyères, dont le nombre varie de 3 à 5, 7 et 9 (13 dans le four Raschette), sont toujours à circulation d'eau, en tôle, fonte ou bronze, de 11 millimètres au moins d'épaisseur. Leur diamètre à l'extrémité doit être d'environ 3 millimètres supérieur à celui de la buse. Chaque tuyère exige pour son refroidissement 620 litres d'eau par heure dans les hauts fourneaux au bois et 1.550 litres dans les hauts fourneaux au coke.

**Tympe.** — La *tympe*, qui est souvent constituée par une caisse en fonte de 0<sup>m</sup>,50 à 0<sup>m</sup>,75 de hauteur, à circulation d'eau, doit avoir son arête inférieure :

Au *niveau des tuyères*, dans les hauts fourneaux au coke, à 0<sup>m</sup>,040 ou 0<sup>m</sup>,100 au-dessus, lorsque les laitiers sont peu fusibles, à 0<sup>m</sup>,050 au-dessous, lorsqu'ils sont très fusibles.

**Dame.** — La *dame*, dont l'arête supérieure ne doit pas être à plus de 0<sup>m</sup>,350 en plan de la tympe dans les grands hauts fourneaux, doit s'arrêter à 0<sup>m</sup>,050 environ au-dessous du niveau des tuyères, et à 0<sup>m</sup>,080 lorsque les laitiers sont très visqueux. Sa face intérieure est un plan incliné à 60° environ.

DÉSIGNATION DES HAUTS FOURNEAUX	HAUTEUR DU HAUT FOURNEAU			DIAMÈTRE DU HAUT FOURNEAU			
	Hauteur totale	Hauteur		à la base	Diamètre		du gueulard
		du creuset	des tuyères au-des. du fond. du crt.		de la cuve	à la partie supérieure	
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Lolling (Carinthie), haut fourneau au bois pour Spiegeleisen.....	12,50	"	0,47	4,40	1,18	3,00	0,94
Lohe, près Stegen, idem, idem.....	11,00	1,57	0,39	2,96	0,60/0,63	2,83	0,94
Malapane (Haute-Silésie), haut fourneau pour fonte grise.	9,30	1,73	0,39	2,98	2,42	2,20	1,10
Donnersmarkhütte (Silésie), haut fourneau au coke pour fonte grise.....	16,60	2,25	0,63	6,75	0,94	4,66	2,35
Königsbütte (Silésie), haut fourneau au coke pour fonte blanche.....	18,80	"	1,25	6,28	2,67	5,65	3,77
Gleiwitz (Silésie), idem, idem.....	14,40	"	0,99	5,96	2,56	5,32	3,92
Heinrichs Hütte, près Hattingen (Westphalie), haut fourneau au coke.....	17,00	2,45	0,76	5,58	0,89	4,79	2,98
Hörde (Westphalie), idem.....	15,50	1,70	0,78	5,31	0,65	0,65	2,82
Mühlöfen (Prusse Rhénane), idem.....	16,20	2,20	0,78	6,90	1,10	4,71	3,30
Espérance (Belgique), idem.....	15,70	2,20	0,78	6,04	0,94	4,71	2,51
Charleroi (Belgique), idem.....	20,00	2,04	0,68	4,94	1,00	4,47	2,51
Eston (Angleterre), idem.....	16,30	1,83	0,94	6,28	0,20	4,71	3,45
Middlesborough (Angleterre), idem.....	25,60	"	"	"	2,44	7,62	5,49
Barrow (Angleterre), idem.....	17,60	"	0,94	5,65	2,20	5,18	3,61
Ystalfera (Pays de Galles), haut fourneau à l'anhracite.	11,30	1,88	0,78	6,28	1,57	4,39	3,14
Dowlais (Angleterre), haut fourneau à la houille crue.	14,10	2,51	1,10	"	2,04	5,34	3,30
Gartsberrie (Ecosse), idem.....	14,80	1,73	0,94	"	2,51	4,08	2,98
Gartsberrie (Ecosse), idem.....	13,50	1,73	0,94	"	2,20	5,65	3,45
Four Raschette (Russie).....	9,40	"	0,86	"	0,86	"	2,20
Haut fourneau de Buttgenbach à Neuss.....	15,70	2,20	"	3,77	1,88	5,02	2,51



Pour compléter ces indications, on a réuni dans le tableau suivant les dimensions caractéristiques d'un certain nombre de hauts fourneaux étrangers (Voir p. 88).

**Soufflerie des hauts fourneaux.** — *Quantité de vent nécessaire.* — La quantité de vent à souffler dans un haut fourneau est déterminée par le poids du coke à brûler. Pour chaque partie de carbone à brûler, il faut injecter dans le four 2,67 parties d'oxygène en poids.

Désignant par :

$k$ , la consommation de coke par vingt-quatre heures en kilogrammes ;

$f$ , la proportion de carbone contenue dans le coke ;

$V$ , la quantité de vent à souffler par seconde en mètres cubes mesurés à la pression ordinaire et à 0°.

on a la formule pratique :

$$V = \frac{k}{32.000}$$

En gros, on peut admettre que la quantité de vent à fournir par minute est égale au volume intérieur du haut fourneau.

**Pression du vent.** — Si on désigne par  $p$  la pression du vent dans la conduite, en kilogrammes par centimètre carré au-dessus de la pression atmosphérique  $P$ , la pression totale à produire  $P_1$  est :

$$P_1 = P + p.$$

En général,  $p$  est compris entre 0<sup>ks</sup>,07 et 0<sup>ks</sup>,22 par centimètre carré.

Le volume  $V_1$  du vent ainsi comprimé sera :

$$V_1 = V \frac{P}{P_1}.$$

Le volume  $V'_1$  réellement injecté dans le haut fourneau n'est, en général, que 70 0/0 du volume calculé  $V_1$  :

$$V'_1 = 0,70V \frac{P}{P_1}.$$

**Séchage du vent.** — Le séchage du vent par condensation de la vapeur d'eau qu'il contient habituellement avant de l'envoyer dans le haut fourneau (procédé Gayley) n'a pas été consacré en Europe. Les essais faits n'ont pas été probants et aucune application nouvelle n'est en cours.

En Amérique, ce procédé est toujours en faveur, mais nous n'avons pas de chiffres suffisamment précis pour en tirer une conclusion pratique.

Par contre certaines usines d'Europe ont fait des essais pour aspirer l'air à des niveaux différents de l'atmosphère suivant les sai-

sons pour réduire l'influence de l'état hygrométrique sur la quantité d'air insufflée.

Les résultats correspondants paraissent intéressants à retenir.

**Machine soufflante.** — Le volume et la pression du vent étant déterminés, on calculera la machine soufflante comme il a été dit précédemment (Voir p. 41), et on choisira parmi les types décrits celui qui sera le mieux approprié aux circonstances.

On place habituellement les machines soufflantes en arrière de la ligne des hauts fourneaux.

**Section de la conduite de vent.** — La section à donner à la conduite de vent est de  $1/20$  de la somme des sections des pistons soufflants pour la portion comprise entre la machine et les appareils à chauffer l'air.

Pour la portion comprise entre ces appareils et le haut fourneau, la section doit être augmentée de  $1 + 0,00367t$  ( $t$  étant la température à laquelle l'air est chauffé).

**Régulateurs.** — Le volume à donner aux régulateurs à capacité invariable, partout employés aujourd'hui, est de 60 fois environ le volume de vent injecté par seconde. Lorsque le vent est distribué à une ligne de hauts fourneaux par une maîtresse conduite de  $1^m,50$  à 2 mètres de diamètre, tout régulateur devient inutile.

**Appareils à chauffer l'air** (Voir *Appareils métallurgiques*, p. 41). — On place les appareils le plus près possible du haut fourneau, et souvent on en établit un par tuyère.

**Buses.** — Le nombre des buses adopté est :

Pour les hauts fourneaux au bois, de 1 à 3 de 20 à 50 millimètres de diamètre ;

Pour les hauts fourneaux au coke, de 3 à 7 de 70 à 80 millimètres de diamètre ;

Pour les hauts fourneaux à l'anhracite, de 8 à 13 de 65 millimètres de diamètre.

### Dimensions des hauts fourneaux modernes.

Avant la guerre, le *fourneau-type* était un appareil de 450 à 525 mètres cubes de capacité, produisant de 160 à 210 tonnes de fonte *Thomas* par 24 heures, avec un lit de fusion rendant 33 à 36 0/0. Ce type était dépassé dans quelques-unes des installations en projet : c'est ainsi notamment que les fourneaux 7 et 8 de Denain devaient donner une production journalière de 220 à 250 tonnes. La hauteur variait habituellement entre 23 et 26 mètres, le diamètre au creuset entre 3 mètres et  $3^m,50$  ; diamètre au ventre, généralement voisin de  $6^m,50$  ; le nombre des tuyères variait habituellement entre 6 et 8. On était déjà loin des fourneaux de 210 mètres cubes (2 mètres de diamètre aux

tuyères, 5<sup>m</sup>,20 au ventre, 17<sup>m</sup>,80 de hauteur) qu'on construisait encore dix ans auparavant et qui produisaient, à cette époque, 55 à 60 tonnes de fonte Bessemer par 24 heures, avec un lit de fusion rendant au minimum 45 0/0. C'étaient encore des fourneaux à poitrine ouverte et à ouvrage, et leur profil différait beaucoup de celui des grands fourneaux 5 et 6, de l'usine de Denain. Pendant la guerre, la capacité de certains nouveaux hauts fourneaux a atteint 450 tonnes.

Par contre, la *fonte hématite* et les *fontes spéciales* se fabriquent toujours dans des fourneaux de dimensions beaucoup moindres rendant, suivant leur capacité et la nature de leur fabrication, de 50 à 100 tonnes par 24 heures.

### Appareils de chargement.

**Accessoires pour hauts fourneaux. — Monte-charges.** — Il y a quatre systèmes principaux de monte-charges :

Les *plans inclinés*, qui prennent beaucoup de place. Leur inclinaison varie de 25 à 30° :

Les *balancés d'eau*, qui consomment environ 1<sup>m</sup>,250 d'eau par tonne utile à élever ;

Les *appareils à piston plongeur et à colonne d'eau*, dont les dimensions sont données par la formule :

$$P = 0,9 Shd,$$

dans laquelle :

P est la charge totale à élever ;

S, la section du piston ;

h, la hauteur de la colonne d'eau motrice ;

d, la densité de l'eau.

Les *cloches pneumatiques*, auxquelles on donne un diamètre de 1<sup>m</sup>,50 environ.

En général, on doit compter que le monte-charge exige une *force* de 8 à 10 chevaux par haut fourneau. La *vitesse* d'ascension peut atteindre 2 mètres par seconde.

Les *monte-charges* des grands fourneaux modernes marchant en fonte Thomas étaient habituellement (Valenciennes, Isbergues) du système *Stahler* : monte-charge incliné à déchargement automatique, supprimant toute main-d'œuvre au gueulard.

Dans le Nord et l'Est, trois constructeurs français s'étaient spécialisés dans ce genre d'appareils.

Les grands fourneaux 5 et 6 de Denain étaient alimentés chacun par un monte-charge du type balance hydraulique à simple effet, qui passait jusqu'à 600 tonnes de minerais et castings et 240 tonnes de coke.



Tableau résumé des conditions de marche de cinq hauts fourneaux anglais.

CONDITIONS de marche	HAUT FOURNEAU de Clarence-Works de 1854	HAUT FOURNEAU de Clarence-Works de 1866	HAUT FOURNEAU d'Ormesby de 1867	HAUT FOURNEAU de Consett	HAUT FOURNEAU de Consett n° 4
Capacité intérieure des fourneaux en mètres cubes.....	170 <sup>m3</sup> mètres 14,60 tonnes 30	350 <sup>m3</sup> mètres 24,40 tonnes 38,6	584 <sup>m3</sup> mètres 23,20 tonnes 68	266 <sup>m3</sup> mètres 16,80 tonnes 55	292 <sup>m3</sup> mètres 16,80 tonnes 60
Hauteur des fourneaux.....	5 <sup>m3,6</sup> n°s 3 à 4 kilogr.	8 <sup>m3,6</sup> n°s 3 à 4 kilogr.	9 <sup>m3,2</sup> n°s 3 à 4 kilogr.	4 <sup>m3,8</sup> n°s 5 kilogr.	4 <sup>m3,9</sup> n°s 4 à 4,5 kilogr.
Production par vingt-quatre heures.....	2.240	2.240	2.440	2.083	2.083
Capacité par tonne produite dans les vingt-quatre heures.....	0,800	0,983	0,625	0,412	0,406
Nature de la fonte, classée par numéros.....	1.450	1.125	1.100	1.137	0,900
Minerais consommé par kilogramme de fonte	1,318	1,020	1,017	1,0355	0,8190
Castine consommée par kilogramme de fonte	1,288	0,990	0,987	1,0055	0,789
Coke consommé par kilogramme de fonte	0,1245	0,058	0,105	0,096	0,113
Carbone total brûlé.....	485	485	780	454,5	718
Carbone brûlé dans la zone de réduction.....	452	332	412	477	248
Température du vent.....	0,387	0,6365	0,542	0,502	0,623
Température des gaz.....					
Valeur du rapport $\frac{CO_2}{CO}$					

Chaleur développée dans le fourneau par chaque kilogramme de carbone brûlé.....	calories 3.245 kilogr. 6.513	calories 3.854 kilogr. 5.193	calories 3.593 kilogr. 4.897	calories 3.621 kilogr. 5.051	calories 3.816 kilogr. 5.161
Poids du vent.....	calories 8.622 calories 1.308	calories 6.933 calories 1.511	calories 6.616 calories 1.365	calories 6.706 calories 1.392	calories 5.161 calories 1.339
Chaleur de combustion dans la zone de réduction par kilogramme de fonte produite....	2.887	2.305	2.181	2.249	1.672
Chaleur de combustion dans la zone des tuyères.....	4.180 755	3.816 602	3.546 913	3.641 551	3.011 643
Chaleur totale de combustion.....	4.935	4.418	4.459	4.192	3.654
Chaleur totale reçue.....	3.632	2.907	3.094	2.800	2.315
Chaleur de la zone de fusion (somme de la chaleur de combustion auprès des tuyères et de celle qu'apporte le vent).....	2.314	2.314	2.314	2.314	2.314
Chaleur absorbée par la réduction du minéral et la fusion de la fonte.....	4.344 923	4.164 646	4.164 646	800 758	762 303
Chaleur absorbée par la fusion des laitiers, la décomposition du calcaire, etc.....	354	335	335	320	275
Chaleur sensible emportée par les gaz.....	4.935	4.418	4.459	4.192	3.654
Chaleur perdue par les parois, etc. (déterminée par différence).....					
Somme de la chaleur consommée.....					

par 24 heures, grâce à l'adoption d'ingénieux dispositifs facilitant l'échange des berlines pleines et des berlines vides, tant à la recette inférieure qu'à la recette supérieure. En voici le détail :

a. Chariot transbordeur au pied des monte-charges, où le service est fait par les locomotives à vapeur prenant les berlines sous les caisses de consommation.

b. Voies d'évitement munies d'aiguilles automatiques sur la plateforme du gueulard où le service est fait par une locomotive électrique à trolley qui pousse la berline pleine jusqu'au centre du gueulard.

L'installation récente de Valenciennes comportait un groupe d'*accumulateurs* en béton armé d'une contenance totale de 16.000 tonnes alimentés par des wagons de 40 tonnes à déchargement automatique latéral. Le service en dessous des accumulateurs était fait par des wagonnets-bascule automoteurs, se présentant aux diverses trappes et conduisant ensuite les bennes sous la poutre inclinée de l'appareil *Stahler*. Des estacades, placées à côté des accumulateurs et pouvant encore contenir 8.000 tonnes, recevaient les minerais employés en petite quantité; ces minerais étaient repris par des wagonnets à main et versés dans les bennes ensuite amenées aux fourneaux. Le coke arrivait par wagon et était déchargé dans les mêmes bennes que des ponts roulants électriques conduisaient aux wagonnets-automoteurs desservant les poutres de chargement.

La *disposition des appareils* adoptés varie beaucoup : simple fermeture hydraulique avec cylindre en tôle pénétrant d'environ 2 mètres dans le haut fourneau et prises de gaz latérales. — Appareils à cône distributeur et prises de gaz latérales. — Appareil à prise de gaz centrale. — Mais, quelle que soit la disposition adoptée, il faut donner aux ouvertures de prise de gaz une section totale égale au 1/6 de la section du gueulard, et munir la conduite de gaz dont le diamètre variera de 0<sup>m</sup>,45 à 0<sup>m</sup>,90 de *clapets de sûreté*, d'*appareils* permettant aux cendres de se déposer, et de portes étanches facilitant le nettoyage de tout le système.

Les *appareils de chargement* modernes sont du type *cup and cone* à double fermeture ou à simple fermeture complétée par une cloche plate qui, au moment où la charge doit être introduite dans le fourneau, vient coiffer soit le gueulard, soit la benne elle-même (Isbergues). Ces différents dispositifs ont tous pour objet de limiter les pertes de gaz à chaque chargement, tout en réduisant la hauteur de chute des matières, en vue d'éviter l'écrasement des minerais et surtout du coke.

La *prise de gaz* est latérale et se fait au moyen de plusieurs conduites de grand diamètre, de façon à diminuer les pertes de charge et à faciliter les nettoyages.

La pression des gaz au gueulard varie de 14 à 17 millimètres d'eau.

Par l'utilisation industrielle de ces gaz, avec ou sans épuration, voir ci-dessus.



*Halle de coulée.* — La halle à établir devant le haut fourneau pour la coulée doit avoir une hauteur d'environ 5 mètres et une surface de 10 mètres carrés par tonne de fonte coulée par jour.

*Emplacement des laitiers.* — On doit compter qu'un haut fourneau produit journallement 150 à 200 mètres cubes de laitier (50.000 à 60.000 mètres cubes par an); il faut donc se réserver de prime abord un grand espace pour les recevoir.

**Marche des hauts fourneaux.** — Pour résumer d'une façon précise les *conditions de marche* des hauts fourneaux, nous donnons, dans le tableau extrait des *Études sur les hauts fourneaux*, par M. Grüner, l'analyse minutieuse de tous les phénomènes constatés. (Voir pp. 92 et 93.)

### L'industrie française de la fonte.

#### SA SITUATION AVANT LA GUERRE — SON ÉTAT ACTUEL

**1<sup>re</sup> Situation avant la guerre** (au 1<sup>er</sup> janvier 1914). — L'industrie de la fonte en France était, à la veille de la guerre, plus prospère que jamais, grâce au développement rapide de l'industrie minière dans le bassin de minette de Lorraine, dont elle suivait l'évolution.

*Minerai de fer.* — La production de minerai de fer croissait par larges étapes; la France était devenue une des grandes puissances exportatrices de ce minerai.

Voici quelques chiffres qui donnent une idée du progrès accompli par cette branche de l'industrie minérale dans la métropole seule.

#### Production du minerai de fer de la France (Métropole seule) de 1870 à 1913.

ANNÉES	PRODUCTION annuelle	EXPORTATION	IMPORTATION	CONSOMMATION
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1871-1875	2.501.000	240.000	669.000	2.930.000
1891-1895	3.592.000	275.000	1.582.000	4.901.000
1901-1905	5.989.000	781.000	1.761.000	6.969.000
1906-1910	10.807.000	2.970.000	1.572.000	9.409.000
1911	16.127.000	6.077.000	1.329.000	11.379.000
1912	19.160.000	8.324.000	1.464.000	12.290.000
1913	21.918.000	10.066.000	1.410.000	13.262.000

Cette progression dans l'exploitation des mines de fer fut telle que la France avec ses colonies et protectorats occupait le troisième rang dans le monde à cet égard, à la veille de la guerre de 1914.

Actuellement, la France tient le second rang, comme le montre le tableau ci-après :

PAYS PRODUCTEUR	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920
<i>Milliers de tonnes métriques.</i>								
France.....	21.918	41.252	620	1.681	2.035	1.672	9.413	13.846
Algérie.....	1.349	1.181	911	1.043	985	902	738	1.096
Tunisie.....	597	529	297	501	606	422	308	434
Allemagne (1)..	28.607	20.505	17.709	21.333	22.464	18.393	6.154	5.920 (2)
Luxembourg...	7.333	5.007	6.139	6.752	4.277	3.131	3.112	3.704
Espagne.....	9.862	6.820	5.618	5.857	5.551	4.693	4.640	4.768
G <sup>de</sup> . Bretagne..	16.253	15.106	14.463	13.711	15.084	14.847	12.450	12.910
Italie.....	603	706	680	947	999	695	613	423
Suede.....	7.479	6.588	6.887	6.989	6.220	6.628	4.987	4.524
Etats-Unis....	62.974	42.103	56.414	76.371	76.494	70.773	61.433	68.858

(1) La production de la Lorraine désannexée est comprise dans celle de l'Allemagne jusqu'à 1918 inclus et dans celle de la France à partir de 1919.

(2) Estimation.

C'est de 1902, époque de la mise en valeur effective du bassin de Briey, que date, en fait, le développement de cette industrie ; c'est ce bassin, aujourd'hui doublé de celui de Thionville, qui est, et demeurera dans l'avenir, la principale richesse de la France en minerai de fer, quel que soit le développement des autres bassins, notamment de groupe de Normandie.

### La production du minerai de fer pendant les années 1926 et 1927

Les tableau ci-après résume les chiffres d'extraction brute pendant les années 1926 et 1927 :

PRINCIPALES RÉGIONS		EXTRACTION DES MINES et des minières	
		1926	1927
		tonnes	tonnes
Lorraine	Metz-Thionville.....	17.079.900	19.240.980
	Briey.....	16.133.600	19.339.683
	Longwy.....	2.730.300	3.080.357
	Nancy.....	1.244.700	1.452.000
Normandie.....		1.253.800	1.570.940
Anjou, Bretagne.....		476.900	516.720
Pyrénées.....		240.300	190.750
Autres régions.....		68.900	64.630
ENSEMBLE DE LA FRANCE.....		39.228.400	45.426.060

soit 106 0/0 de la production de 1913 qui fut de 43.054.135 tonnes, alors qu'en 1926 cette proportion était de 91 0/0 seulement.

On trouvera ci-après, pour les deux dernières années, la production de minerai marchand par catégories.



## Production de minerais marchands.

RÉGIONS		PRODUCTION DE MINÉRAI MARCHAND			
		Non phosphoreux	Moyennement phosphoreux	Phosphoreux	Total
<b>1926</b>					
Lorraine.	Metz-Thionville.	"	"	17.079.900	17.079.900
	Briey .....	"	"	16.133.600	16.133.600
	Longwy.....	"	"	2.730.300	2.730.300
	Nancy .....	"	"	1.244.700	1.244.700
Normandie.....	"	1.253.800	"	1.253.800	
Anjou, Bretagne.....	"	476.900	"	476.900	
Pyrénées.....	218.505	30.760	"	249.265	
Aveyron, Tarn, Hérault....	"	4.400	"	4.400	
Ardèche, Gard, Lozère.....	"	37.100	"	37.100	
Indre.....	22.100	"	"	22.100	
Sud-Ouest.....	5.300	"	"	5.300	
ENSEMBLE DE LA FRANCE.		237.000	1.802.900	37.188.500	39.228.400
<b>1927</b>					
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Lorraine.	Metz-Thionville.	"	"	19.210.980	19.210.980
	Briey.....	"	"	19.339.683	19.339.683
	Longwy.....	"	"	3.080.357	3.080.357
	Nancy .....	"	"	1.452.000	1.452.000
Normandie.....	"	1.570.940	"	1.570.940	
Anjou, Bretagne.....	"	516.720	"	516.720	
Pyrénées.....	173.980	16.770	"	190.750	
Aveyron, Tarn, Hérault....	"	6.790	"	6.790	
Ardèche, Gard, Lozère....	"	21.760	"	21.760	
Indre.....	28.430	"	"	28.430	
Sud-Ouest.....	7.650	"	"	7.650	
ENSEMBLE DE LA FRANCE.		210.060	2.132.980	43.083.020	45.426.060

**Consommation.** — Les hauts fourneaux français ont consommé 24.822.052 tonnes de minerai français en 1926, contre 22.327.808 tonnes en 1925 (1).

A défaut d'indications similaires pour les autres bassins producteurs, mentionnons que celui de Metz-Thionville a livré les quantités ci-après à la consommation intérieure.

	1926	1927
	tonnes	tonnes
Lorraine désannexée.....	9.697.620	9.785.777
France (frontières de 1914).....	801.858	683.068
<b>TOTAUX.....</b>	<b>10.499.478</b>	<b>10.468.845</b>

On peut, d'autre part, évaluer à 12.980.000 tonnes environ les quantités de minettes en provenance des bassins de Briey, Longwy et Nancy utilisées en 1926 par nos hauts fourneaux au lieu de 11.392.000 tonnes environ l'année précédente.

### Main-d'œuvre.

Le nombre d'ouvriers occupés dans les mines de fer s'est encore accru en 1927; l'effectif du personnel, qui était en janvier de 36.844, s'est élevé jusqu'à 38.033 en décembre (maximum de l'année).

1 Ce chiffre ne correspond pas exactement à la consommation totale de minerai de fer français: il faudrait, en effet, y ajouter des tonnages relativement minimes, il est vrai, consommés par les aciéries ou par les fonderies de deuxième fusion.

## Personnel occupé dans les mines de fer (ouvriers inscrits).

RÉGIONS	Janvier	Janvier	Décembre
	1926	1927	1927
Lorraine... { Metz-Thionville .....	12.233	14.117	14.391
{ Briey-Longwy .....	14.020	15.933	16.571
{ Nancy .....	1.412	1.667	1.727
Normandie .....	2.093	2.666	2.789
Anjou, Bretagne .....	846	977	1.193
Pyrénées .....	1.206	1.160	1.074
Aveyron, Tarn, Hérault .....	57	50	61
Gard, Ardèche, Lozère .....	102	114	87
Indre .....	68	108	84
Sud-Ouest .....	38	52	57
<b>ENSEMBLE DE LA FRANCE.....</b>	<b>32.075</b>	<b>36.844</b>	<b>38.034</b>

La main-d'œuvre des mines actuellement françaises qui, en janvier 1926, représentait 76 0/0 de l'effectif moyen du personnel de ces mêmes exploitations en 1913 (1), dépassait 88 0/0 en janvier 1927 et 91 0/0 en décembre 1927.

La production moyenne par ouvrier et par mois, pour l'ensemble de la France, a encore augmenté pendant l'année écoulée: de 102 tonnes en 1927, elle est passée à 105,7 tonnes en 1927, avec un minimum de 100,5 tonnes en novembre et un maximum de 112,8 tonnes en mars; la moyenne avait été de 64,1 tonnes pour 1921, de 82 tonnes pour 1924 et de 99,3 tonnes pour 1926.

Dans le bassin de Metz-Thionville, la moyenne mensuelle, qui était de 114,5 tonnes en 1926, est passée à 115,5 tonnes en 1927 avec un maximum de 125,9 tonnes en mars et un minimum de 110,6 tonnes en novembre. Pour le bassin de Meurthe-et-Moselle, la moyenne est passée de 109,4 tonnes en 1926 à 115 tonnes en 1927, avec un maximum de 121,6 tonnes en mars et un minimum de 109,2 tonnes en novembre.

(1) 1913 : 41.662 ouvriers, dont 25.494 pour les mines situées dans les limites de l'ancienne France et 16.168 pour les mines du bassin de Metz-Thionville incorporé à la France.



## Commerce extérieur.

**Importations.** — C'après les statistiques provisoires de l'Administration des Douanes, les importations et exportations de minerai de fer en France et en Sarre ont été les suivantes :

## Importations en France et en Sarre.

PAYS DE PROVENANCE	1926	1927	Variations 0/0
	tonnes	tonnes	
Belgique et Luxembourg.....	852.336	540.289	— 36
Allemagne.....	18.658	445	— 98
Pays-Bas.....	1.366	894	— 34
Grande-Bretagne.....	708	478	— 32
Espagne.....	162.658	194.746	+ 12
Italie.....	14.103	10.899	— 22
Suisse.....	22.120	30.922	+ 28
Suède.....	38.670	9.560	— 75
Norvège.....	6.845	2.010	— 71
Portugal.....	"	4.675	+
Pays étrangers non dénommés.....	19.133	15.043	+
Pays étrangers....	1.136.597	809.961	— 20
Algérie.....	65.059	84.681	— 30
Tunisie.....	166.967	103.244	— 28
Maroc.....	18.183	49.442	+ 172
Afrique occidentale française.....	48	"	—
Colonies et protectorats non dénommés.....	"	"	—
Colonies et protectorats....	250.257	237.367	+ 3
IMPORTATIONS TOTALES.....	1.386.854	1.047.328	— 23

## Exportations de France et de Sarre.

PAYS DE DESTINATION	1926	1927	Variations 0/0
	tonnes	tonnes	
Belgique et Luxembourg.....	9 488.702	11 403.671	+ 20
Allemagne.....	860.752	2.117.412	+ 146
Pays-Bas (1).....	791.486	1.013.998	+ 28
Grande-Bretagne.....	81.831	119.878	+ 46
Etats-Unis.....	3.000	"	-
Italie.....	62	15	- 75
Suisse.....	42	119	+ 183
Pays étrangers non dénommés.....	3.997	5.826	+
Pays étrangers.....	11.229.872	14.660.919	+ 30
Algérie.....	79	681	+ 760
Tunisie.....	2.680	60	- 97
Maroc.....	2	2	+
Colonies et protectorats non dénommés.....	1.265	720	-
Colonies et protectorats.....	4.026	1.463	- 62
EXPORTATIONS TOTALES.....	11.233.898	14.662.382	+ 30

Les exportations des mines du bassin de Metz-Thionville ont atteint 8.192.359 tonnes en 1927 contre 6.269.492 tonnes en 1926; elles se répartissent ainsi:

	1926	1927
	tonnes	tonnes
Luxembourg.....	2.638.703	3.841.040
Sarre.....	2.310.336	2.556.503
Allemagne (sauf la Sarre).....	468.850	799.475
Belgique.....	851.603	995.341
EXPORTATIONS TOTALES.....	6.269.492	8.192.359

(1) Les tonnages acheminés vers les Pays-Bas sont pour la très grande partie destinés effectivement à l'Allemagne.

**Hauts fourneaux.** — La production de fonte en 1913 a atteint, pour l'ensemble de la France, 5.207.197 tonnes;

Le diagramme ci-joint (*fig. 4*) donne, d'après la *Statistique de l'Industrie minérale et des appareils à vapeur pour l'année 1913*, la progression de cette industrie depuis 1894, soit pour la période de vingt années qui a précédé la guerre. On constate que, dans ce laps de temps, les hauts fourneaux français avaient accru leur fabrication de 156 0/0 et qu'un accroissement de plus de 1.600.000 tonnes s'était manifesté depuis 1909, après quelques années de stagnation.

En 1913, le nombre de hauts fourneaux français était de cent cinquante-six, dont à feu :

124 au coke  
2 au bois.

Étaient en construction : treize hauts fourneaux dont trois dans l'Est, cinq ans dans le Nord (*Pont-à-Vendin*, trois ; *Rouen*, deux), deux dans le Centre, six dans le Sud-Ouest et deux dans l'Ouest (*Caen*, capacité : 350 tonnes par jour chacun).

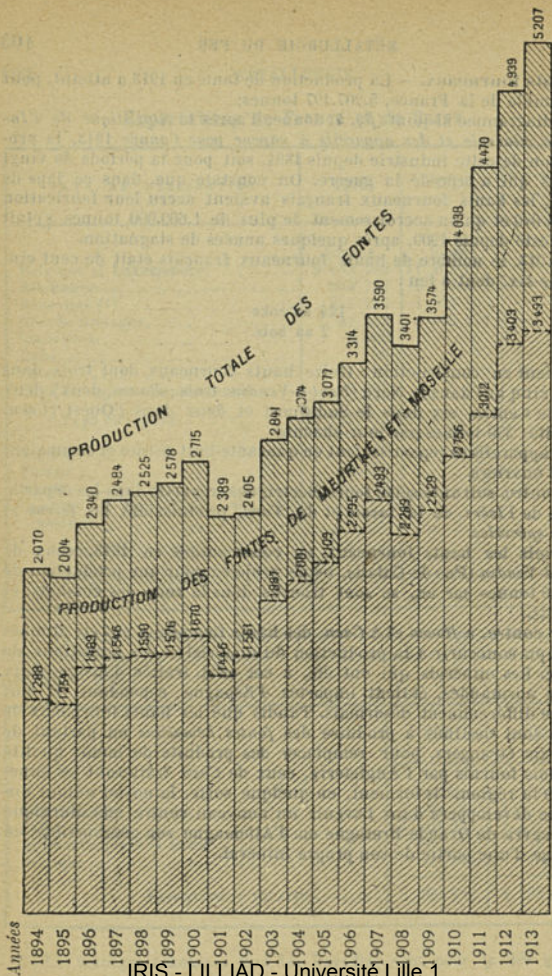
Ces appareils se répartissaient en quarante-huit usines et occupaient 19.000 ouvriers.

En outre, soixante-seize fours électriques, répartis dans les départements de l'*Isère*, de la *Savoie* et du *Tarn*, produisaient les *ferros et fontes spéciales*.

Parmis les hauts fourneaux en construction en 1913, ceux de *Pont-à-Vendin* (Pas-de-Calais), usine projetée pour une production de 300.000 tonnes par an, se sont trouvés dans la zone des combats, et détruits.

Par contre, à *Rouen* et à *Caen*, des hauts fourneaux ont été allumés et ont pu concourir à la production du matériel et des munitions de guerre. Les minerais qui ont été, à cet effet, traités dans ces deux usines normandes, étaient importés d'Espagne; cependant, il doit en être différemment désormais. Tandis que les hauts fourneaux de *Rouen* sont destinés à produire des *fontes hématites* en partant de minerais étrangers, pour remplacer des produits de même qualité autrefois fournis par l'Angleterre, ceux de *Caen* traiteront les minerais de la région. Ils forment, en quelque sorte, le noyau autour duquel se développera dans l'avenir un nouveau centre métallurgique qui recevra de Grande-Bretagne ou d'Allemagne son combustible, en échange d'une partie de son propre minerai.





IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

FIG. 4. — Progression de l'industrie de la fonte en France, de 1894 à 1913,

## SITUATION DE L'INDUSTRIE DE LA FONTE, DE 1914 A 1925.

De 1913 à 1920, la production de fonte a été la suivante :

1913.....	5.207.307 tonnes
1914	} 1 <sup>er</sup> semestre : 2.448.953 2 <sup>e</sup> semestre : 241.588
1915.....	585.776 —
1916.....	1.488.691 —
1917.....	1.734.967 —
1918.....	1.306.494 —
1919.....	2.412.149 —
1920.....	3.433.791 —
1921.....	3.416.953 —
1922.....	5.228.577 —
1923.....	5.431.787 —
1924.....	7.621.399 —
1925.....	8.494.111 —

## Production de fonte pendant l'année 1928.

Il a été produit en France, pendant l'année 1928, 9.980.088 tonnes de fonte.

Le nombre des hauts fourneaux en activité est passé de 143 au 1<sup>er</sup> janvier 1928 à 155 au 1<sup>er</sup> janvier 1929.

Voici le détail de la production française par régions durant l'année 1928 (1) :

(1) Rappelons que les départements sont, dans toutes ces statistiques, répartis en 7 groupes :

<i>Est</i> .....	Ardennes, Aube, Belfort (Territoire de), Doubs, Jura, Haute-Marne, Haute-Saône, Marne, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Vosges.
<i>Alsace et Lorraine</i> ....	Moselle, Bas-Rhin, Haut-Rhin.
<i>Nord</i> .....	Aisne, Nord, Oise, Pas-de-Calais, Seine, Seine-et-Marne, Seine-et-Oise, Somme.
<i>Centre</i> .....	Allier, Ardèche, Cantal, Cher, Corrèze, Côte-d'Or, Creuse, Haute-Loire, Haute-Vienne, Indre, Loire, Loiret, Lozère, Nièvre, Puy-de-Dôme, Rhône, Saône-et-Loire, Yonne.
<i>Sud-Ouest</i> .....	Ariège, Aude, Aveyron, Basses-Pyrénées, Charente, Dordogne, Gers, Gironde, Haute-Garonne, Hautes-

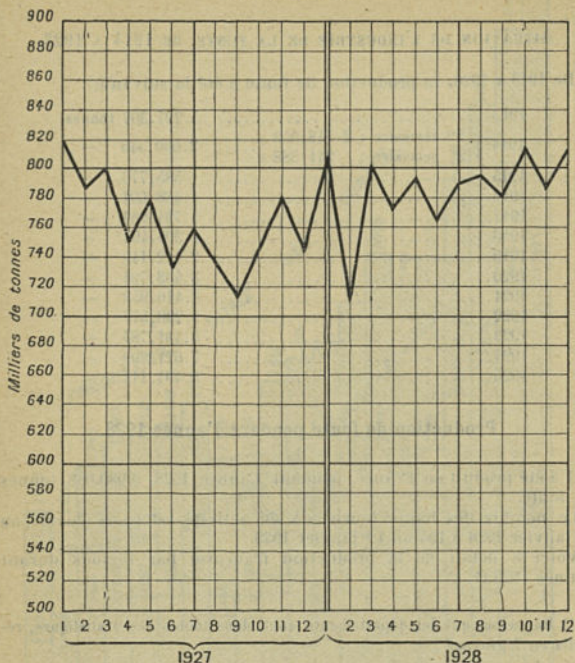


FIG. 5. — Graphique de la production mensuelle en 1927 et 1928.

Pyrénées, Landes, Lot, Lot-et-Garonne, Pyrénées-Orientales, Tarn, Tarn-et-Garonne.

*Sud-Est* ..... Ain, Alpes-Maritimes, Basses-Alpes, Bouches-du-Rhône, Drôme, Gard, Hautes-Alpes, Haute-Savoie, Hérault, Isère, Savoie, Var, Vaucluse.

*Ouest* ..... Calvados, Charente-Inférieure, Côtes-du-Nord, Deux-Sèvres, Eure, Eure-et-Loir, Ille-et-Vilaine, Indre-et-Loire, Finistère, Loir-et-Cher, Loire-Inférieure, Maine-et-Loire, Manche, Mayenne, Morbihan, Orne, Sarthe, Seine-Inférieure, Vendée, Vienne.



a) *Production totale :*

GROUPES	TOTAUX	0/0
	tonnes	tonnes
Est.....	4.185.089	41,9
Alsace et Lorraine.....	3.633.775	36,4
Nord.....	1.115.024	11,7
Centre.....	203.789	2,1
Sud-Ouest.....	145.592	1,4
Sud-Est.....	139.361	1,4
Ouest.....	506.238	5,1
<b>PRODUCTION TOTALE.....</b>	<b>9.980.088</b>	<b>100,0</b>

b) *Production par catégories :*

## 1° FONTE PHOSPHOREUSE (Plus de 1,5 0/0 de phosphore).

GROUPES	THOMAS	O. M.	MOULAGE
	tonnes	tonnes	tonnes
Est.....	3.450.786		658.552
Alsace et Lorraine.....	3.029.100		478.715
Autres régions.....	1.300.081		30.987
<b>TOTAUX.....</b>	<b>7.779.967</b>	<b>19.306</b>	<b>1.168.252</b>

## 1° FONTE SEMI-PHOSPHOREUSE (environ 1 0/0 de phosphore).

GROUPES	
Est et Alsace-Lorraine.....	66.584
Nord et Centre.....	34.910
Sud-Ouest et Ouest.....	35.153
<b>TOTAUX.....</b>	<b>136.647</b>

## 2° FONTE HÉMATITE (1,5 0/0 ou moins de phosphore).

GROUPES	BESSEMER	AFFINAGE	MOULAGE
	tonnes	tonnes	tonnes
Nord.....		100.872	67.483
Centre.....		78.133	96.037
Sud-Ouest.....		38.613	70.032
Autres régions.....		98.310	104.868
TOTAUX.....	11.793	315.928	338.426

## 3° FONTES SPÉCIALES

	EST ET ALSACE ET LORRAINE	AUTRES RÉGIONS	TOTAUX
	tonnes	tonnes	tonnes
Spiegel.....	50.862	51.030	101.892
Ferro-manganèse.....			64.165
	Sud-Est		
Ferro-silicium.....	25.482	7.797	33.279
Autres ferro-alliages.....			5.713

## Hauts fourneaux existants.

Hauts fourneaux existants et fours électriques. — Voici comment se répartissent actuellement les hauts fourneaux existants :

GROUPES	Au 1 <sup>er</sup> JANVIER		AU 1 <sup>er</sup> JANVIER 1928					CAPACITÉ de production par 24 heures des hauts fourneaux à feu	
	1927	1928	En activité	Bouché	En réparation	En démolition	Neufs ou réparés		Constructions nouvelles
	A feu	A feu							
Est .....	66	62	66	»	8	1	7	1	tonnes 13.215
Alsace et Lorraine .....	46	46	49	1	7	4	2	3	13.740
Nord .....	13	14	16	»	2	»	3	1	3.908
Centre .....	8	5	6	2	3	»	3	»	1.263
Sud-Ouest .....	8	8	9	»	6	3	2	»	1.116
Sud-Est .....	4	3	3	1	2	1	»	»	566
Ouest .....	6	5	6	»	1	1	1	»	2.060
<b>TOTAUX .....</b>	<b>155</b>	<b>143</b>	<b>155</b>	<b>4</b>	<b>29</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>35.868</b>
Fours électriques en France .....	45	61	59	2	11	»	47	19	»



**Matières premières consommées.** — Pendant l'année 1927, la consommation de matières premières dans les hauts fourneaux a été la suivante :

a) *Minerais de fer français :*

BASSINS	PRODUCTION tonnes	CONSOMMATION FRANÇAISE				
		Est et Nord tonnes		Alsace et Lorraine tonnes		France tonnes
Metz-Thionville.	20.404.150	844.690		10.045.965		10.890.655
Briey.....	21.092.447	Est 8.060.886	Alsace et Lorraine 869.371	Nord 4.934.138	Autres régions 4.240	France 10.868.635
Longwy.....	3.568.987	Est 2.361.018		Alsace et Lorraine 966.826		France 3.327.844
Nancy.....	1.501.148	Est 971.871		Alsace et Lorraine et Nord 87.087		France 1.058.958
Normandie.....	1.680.454	Ouest et Nord 767.546				France 767.546
Anjou-Bretagne	535.696					France 114.019
Pyénées.....	162.156	Centre 85.823	Sud-Ouest 56.547	Sud-Ouest et Lorraine 80.922		France 224.292
Autres bassins.	62.682	Centre 23.165	Sud-Ouest 27.093	Autres régions 56.050		France 106.308

b) *Minerais de fer étrangers et des colonies :*

PAYS de provenance	RÉGIONS CONSOMMATRICES	CONSOMMATION totale
Algérie.....	Est, Alsace et Lorraine, Nord, Sud-Ouest, Sud-Est, Ouest.....	tonnes 52.411
Tunisie.....	Alsace et Lorraine, Nord, Centre, Sud-Ouest, Ouest.....	141.624
Maroc.....	Est, Alsace et Lorraine, Nord, Centre, Sud-Ouest.....	50.014
Luxembourg..	Est, Alsace et Lorraine.....	25.917
Espagne.....	Est, Alsace et Lorraine, Nord, Sud-Est, Sud-Ouest, Ouest.....	163.151
Suède.....	Alsace et Lorraine, Nord.....	18.548
Autres pays..	Est, Alsace et Lorraine, Centre.....	18.662
	France.....	470.327

c) *Minerais de manganèse à 35 0/0 au moins de manganèse :*

PAYS de provenance	RÉGIONS CONSOMMATRICES	CONSOMMATION totale
France.....	Centre, Sud-Ouest, Sud-Est, Ouest.....	tonnes 3.983
Indes anglaises..	Est, Alsace et Lorraine, Nord, Centre, Sud-Ouest, Sud-Est, Ouest.....	267.810
Russie.....	Est, Alsace et Lorraine, Nord, Centre, Sud-Ouest et Sud-Est.....	76.720
Espagne.....	Est, Alsace et Lorraine, Nord, Ouest....	18.538
Côte de l'or et Ouest africain	Est, Alsace et Lorraine, Nord, Centre, Sud-Est.....	88.616
Brésil.....	Est, Alsace et Lorraine, Sud-Ouest, Sud-Est.	59.561
Maroc.....	Alsace et Lorraine, Nord, Centre, Sud-Ouest.	800
Grèce, Italie, Tunisie, Inde portugaise.....		7.567
	France.....	523.595

d) *Ribbons et mitrilles, scories et résidus de grillage des pyrites :*

	EST	ALSACE ET LORRAINE	NORD	CENTRE	SUD- OUEST	SUD-EST	OUEST	TOTAL
Ribbons et mitrilles	194.504	211.603	84.976	38.682	21.387	19.592	38.262	tonnes 809.006
Scories	221.572	254.788	164.953	23.792	7.967	113.424		786.496
Résidus de grillage		31.106	72.035	138.163	62.704	159.606		463.614

## II. — FABRICATION DU FER

Le fer est produit, comme chacun le sait, soit par puddlage, soit par affinage, soit par réchauffage. Dans tous les cas, on l'obtient *par soudage*, ce qui le différencie essentiellement de l'acier, qu'on fabrique aujourd'hui exclusivement *par fusion* dans les convertisseurs ou dans les fours Martin.

Sa production se réduit de jour en jour, au fur et à mesure qu'il est remplacé par l'acier dans ses diverses applications.

### Fabrication du fer par soudage.

Les anciens procédés directs de fabrication du fer avec affinage au bas foyer ont complètement disparu, sauf chez certaines peuplades nègres. Seul subsiste, et pas pour longtemps, le puddlage à la houille.

Au point de vue technique, on peut signaler que les usines à fer du département du Nord produisaient *toutes les catégories du métal soudé* depuis le fer n° 2 (fer commun, sulfureux et phosphoreux) jusqu'au fer n° 6 (fer à 0,02 0/0 de S, et 0,01 0/0 de Ph, un peu manganésé et assez carburé, correspondant à la première qualité des cahiers des



charges des compagnies de chemin de fer). Le fer n° 2 est fabriqué en partant de fonte blanche froide, phosphoreuse et pauvre en manganèse (généralement 0,2 0/0 de Mn et 1,2 0/0 de Ph, jusqu'à 1,8 0/0 de Ph si la fonte d'affinage a été obtenue en employant exclusivement des minettes); les fers de qualité sont fabriqués en partant de fonte hématite truitée-grise ou grise, ou encore en ajoutant à une charge peu manganésée une quantité convenable de spiegel. Une fabrication particulière est celle du fer pour écrous et pour cannes de verrier, fer phosphoreux, obtenu en partant de fonte riche en phosphore et en conduisant l'opération d'une façon spéciale.

On employait les fours simples de 250 kilogrammes (1), les fours doubles de 500 à 600 kilogrammes et, dans certaines usines, le four Lemut à puddlage mécanique. Les qualités supérieures se font exclusivement au four simple de 250 kilogrammes. Les fours comportent presque toujours une sole préparatoire ou cassin, sur laquelle la fonte est chauffée par les flammes perdues du four avant d'être chargée sur la sole de travail; cette disposition diminue la consommation de combustible et la durée nécessaire à l'affinage; mais elle augmente le déchet de feu, et cette dernière considération a conduit quelques forges à préférer le four sans cassin.

Dans les meilleures conditions de rapidité, c'est-à-dire en fer n° 2 et avec des fours à cassin, la production peut atteindre au maximum neuf charges par poste de 12 heures et la consommation de combustible s'abaisser à 500 kilogrammes de houille par tonne de fer brut. En fer n° 6, la consommation est supérieure à 1.000 kilogrammes et le nombre de charges au plus égal à cinq par poste de 12 heures.

L'élévation du prix de revient du métal puddlé, par rapport au métal Thomas (et même au métal Martin, auquel il ne saurait d'ailleurs être comparé au point de vue qualité), tient surtout aux frais beaucoup plus considérables de combustible et de main-d'œuvre. Quant à la majoration de prix de la fonte Thomas par rapport à la fonte commune de puddlage (majoration résultant du minerai de manganèse d'une plus grande consommation de coke et d'une moindre production du haut fourneau), elle est à très peu près compensée par le déchet plus grand du puddlage et du réchauffage du fer comparé au déchet de la conversion et du laminage de l'acier.

La main-d'œuvre spéciale nécessaire au puddlage tend d'ailleurs à se faire de plus en plus rare. Malgré l'élévation des salaires, le recrutement du personnel devient difficile: le puddleur préfère diriger ses enfants vers le laminage et plutôt encore vers les ateliers.

(1) La constance relative des dimensions des fours à puddler (à une ou deux portes de travail) tient à ce que ces dimensions sont limitées par la considération du travail de l'ouvrier.

En France, le métal soudé, en 1913, représentait encore 8 0/0 de la production globale d'acier contre 18 0/0 en 1910 et 40 0/0 en 1899.

Dans notre pays, les bas foyers ne sont pas complètement éteints, mais ils ne comptent plus que pour un tonnage insignifiant (307 tonnes) et ne se trouvent que dans le département des *Landes*. C'est au réchauffage, il faut bien le remarquer, que revient la plus grosse moitié (53 0/0) de cette fabrication de fer soudé.

Mais que va-t'il advenir de cette industrie en décadence, lors de la reprise de l'activité normale dans les centres métallurgiques dévastés ?

Voici le détail de leurs fabrications en 1913 (métal brut et non produits finis) :

	FOUR à puddler	FOUR à souder
	tonnes	tonnes
Ardennes.....	35.596	27.999
Meurthe-et-Moselle.....	17.311	12.309
Meuse.....	1.776	1.586
Nord.....	85.191	58.856
Somme.....	1.230	1.540
<b>TOTAUX.....</b>	<b>141.104</b>	<b>102.290</b>

Ces métaux étaient transformés en très grande partie en fers et aciers marchands, un peu en tôles et larges plats. En outre, le *Nord*, les *Ardennes*, la *Somme*, faisaient un peu de pièces de forge et de bandages de roues, tandis que la production de la *Meuse* était toute en rails de mines.

Cette dernière fabrication disparaîtra certainement avant peu. Quant aux autres, la guerre leur aura porté un coup à peu près fatal.

Comment concevoir que les petites forges dont le matériel aura été détruit par l'ennemi puissent songer à reconstruire leurs fours à puddler, en présence de la raréfaction de la main-d'œuvre et surtout de sa répugnance de plus en plus grande pour la besogne certainement la plus pénible de la forge moderne ?

A cette considération s'ajoutent celles déjà mises en relief dans la précédente édition de cet agenda :

Prix de revient du fer puddlé supérieur à celui de l'acier de conversion ;

Caractéristiques mécaniques du métal Thomas supérieures à celles des meilleurs fers.

Progrès faits par les chaudronniers dans la connaissance des points

critiques de la tôle d'acier au point de vue du travail à chaud (fragilité au bleu) ;

Abandon du fer pour certaines fabrications où sa faveur s'était le plus longtemps maintenue (tôle, feuillard, boulons, fers à cheval).

Enfin, — notamment dans le Nord — le développement de l'aciérie Martin, qui consommera de plus en plus de mitraille, aura pour effet de diminuer les approvisionnements en matières premières des fours à souder, tandis que la prédominance croissante des riblons d'acier rendra de plus en plus difficile la confection des paquets à souder.

Depuis 1910, la fabrication du fer par réchauffage avait déjà sensiblement décliné dans le département du Nord, tombant de 64.100 tonnes à 58.856 en 1913, — soit une diminution de 8 0/0 environ.

Le fer semble ne devoir conserver que les emplois pour lesquels la facilité de forgeage et la soudabilité sont les qualités essentielles ; c'est, d'une manière générale, le cas de tous les produits (petites barres, petits ronds, petits plats) demandant un usinage important chez le petit forgeron, et, en particulier, de tous les articles de serrurerie, dans la fabrication desquels la main-d'œuvre joue un grand rôle. Le coup de marteau est moins dur avec le fer qu'avec l'acier, le soudage demande moins d'expérience. Au point de vue soudabilité, on peut signaler que le plat en fer reste préféré par quelques usines pour la fabrication des tubes soudés par simple rapprochement. Les chaînes d'appareils de levage, les chaînes marines se font toujours en fer de qualité supérieure. Enfin, certains consommateurs continuent d'exiger le métal soudé pour les pièces en mouvement (bielles, manivelles, etc.) des locomotives, ainsi que pour les crochets de traction, toutes pièces pour lesquelles les meilleurs fers peuvent être avantageusement, question de prix à part, remplacés par les aciers spéciaux. Il en est de même en ce qui concerne la cémentation.

En résumé, on peut escompter que la guerre aura eu pour conséquence de hâter la disparition des procédés de puddlage et de soudage encore en faveur auparavant dans la métallurgie du Nord et de l'Est. Ils se maintiendront, surtout en ce qui concerne le réchauffage des vieux fers, dans les départements à très petite industrie, où les forges trouveront encore sur place une mitraille de qualité convenable.

*Description du puddlage.* — On sait que ce procédé consiste, en général, à mettre la fonte additionnée des scories riches sur la sole d'un four à réverbère, où elle est soumise à l'action de la flamme, on emploie aussi comme matière première les vieux fers et riblons.

Quand la fonte commence à fondre, on la retourne jusqu'à ce que la fusion soit complète dans toute la masse. Puis on commence le *brassage*. Cette opération se fait soit à la main au moyen du *crochet* ou *rabot*, ou soit par des moyens mécaniques pour ne pas exposer les ouvriers à une température trop élevée.



On passe enfin à la préparation des balles ou *loupes* (cinq à six de 30 à 40 kilogrammes chacune). Une fois les loupes préparées, on donne un coup de feu et on procède au *cinglage*.

Comme appareil de cinglage, on emploie exclusivement le marteau-pilon. Les premiers coups de marteau doivent être donnés avec ménagement. La manière dont une loupe supporte le cinglage indique déjà sa qualité. Une loupe qui se soude sans difficultés indique un fer doux et malléable; l'apparition des jets de flammes bleues indique qu'il existe encore des parties de métal carburées.

### Puddlage.

**Fours à puddler.** — On a réuni dans le tableau suivant les données les plus propres à caractériser les fours à puddler.

Chauffe .....	{	Largeur.....	0 <sup>m</sup> ,80	} Surface de chauffe : 0 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,60		
		Longueur.....	1 <sup>m</sup> ,00		à 0 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,90, en général 0 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,80.	
		Hauteur de l'autel au-dessus de la grille : 0 <sup>m</sup> ,450. — de la porte au-dessus de la grille : 0 <sup>m</sup> ,30 à 0 <sup>m</sup> ,35.				
Consommation de charbon par douze heures : 1.200 à 1.500 kilog.						
Autel à courant d'air réfrigérant. Largeur : 0 <sup>m</sup> ,40.						
Laboratoire...	{	Largeur.....	1 <sup>m</sup> ,40	} Surface du laboratoire : 2 <sup>m</sup> <sup>2</sup> ,41.		
		Longueur.....	1 <sup>m</sup> ,65			
		Rapport de la surface de chauffe à la surface du laboratoire : 1 à 2,5.				
		Sole en peroxyde de fer.				
		Hauteur de la voûte au-dessus de la sole au milieu du four : 0 <sup>m</sup> ,60 à 0 <sup>m</sup> ,65.				
Rampant.....	{	Profondeur de la plaque de la sole au-dessous de l'autel : 0 <sup>m</sup> ,25.				
		Épaisseur de la plaque de fonte formant la sole : 0 <sup>m</sup> ,040 à 0 <sup>m</sup> ,100.				
		Épaisseur du garnissage en peroxyde de fer : 0 <sup>m</sup> ,10.				
		Porte de 0 <sup>m</sup> ,45 sur 0 <sup>m</sup> ,35 de hauteur.				
Cheminée.....	{	Section égale au 1/8 de la surface de chauffe.				
		Section égale au 1/4 de la surface de chauffe.				
		Hauteur : 12 à 15 mètres.				

Chaudière chauffée par les flammes perdues : surface de chauffe : 20 mètres carrés.

## III. — FABRICATION DE L'ACIER

## L'Industrie française de l'acier.

## SA SITUATION AVANT LA GUERRE. — SON ÉTAT ACTUEL.

1<sup>o</sup> Situation avant la guerre (au 1<sup>er</sup> janvier 1914) — De façon générale, l'industrie de l'acier a suivi, en France, un développement parallèle à celle de la fonte et, jusqu'à ce jour, juste suffisant à la satisfaction des besoins du pays. Les graphiques (fig. 6 et 7) en montrent l'évolution depuis 1888, tant en ce qui concerne la répartition du tonnage total entre les divers procédés de fabrication qu'au point de vue de la participation relative des différents centres producteurs.

*Produits bruts (lingots).* — La production totale des lingots d'acier a été, en 1913, de 4.686.866 tonnes.

Rappels, pour marquer le très grand progrès accompli depuis le début de ce siècle, les chiffres de production des années 1900 à 1913 :

1900.....	1.642.000 tonnes (1)
1901.....	1.477.000 —
1902.....	1.634.000 —
1903.....	1.854.000 —
1904.....	2.080.000 —
1905.....	2.241.000 —
1906.....	2.371.000 —
1907.....	2.766.000 —
1908.....	2.727.000 —
1909.....	3.034.000 —
1910.....	3.390.000 —
1911.....	3.869.000 —
1912.....	4.428.000 —
1913.....	4.687.000 —

Ainsi les coefficients de production, en prenant pour unité celle de l'année 1900, sont de 2,07 en 1910 et de 2,85, en 1913.

La répartition de la production entre les différentes régions et d'après le mode d'élaboration a été la suivante et rappelée par les deux diagrammes ci-joints :

(1) Chiffres, extraits pour les années 1900 à 1910 inclusivement, de l'ouvrage de Léon GUILLET, sur *les Industries métallurgiques à l'avant-guerre*. — Dunod et Pinat, éditeurs, 1917.

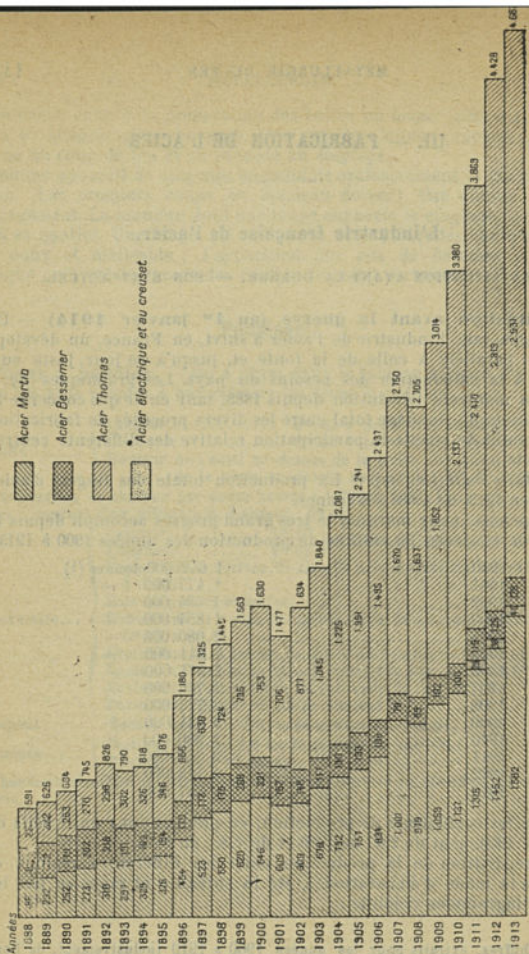
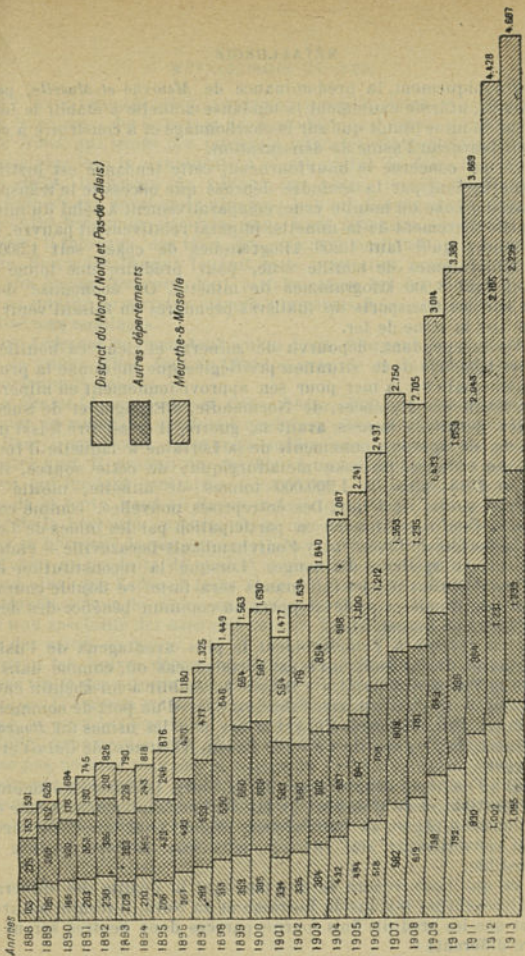


FIG. 6. — Production de l'industrie de l'acier en France, de 1888 à 1913.





IRIS - LILLIAD - Université Lille 1  
 FIG. 7. — Répartition de la production d'acier entre les grands centres sidérurgiques.

Géographiquement, la prédominance de *Meurthe-et-Moselle*, pays de minéral, affirme hautement la tendance actuelle à établir le fourneau sur la mine plutôt que sur le charbonnage et à construire à côté du haut fourneau l'usine de dénaturation.

En ce qui concerne le haut fourneau, cette tendance est justifiée économiquement par la moindre dépense que nécessite le transport du charbon (coke ou houille crue) comparativement à celui du minéral, particulièrement de la minette, minéral relativement pauvre. En effet, tandis qu'il faut 1.200 kilogrammes de coke, soit 1.500 à 1.600 kilogrammes de houille crue, pour produire une tonne de fonte, il faut 3.000 kilogrammes de minette. On économise donc 50 0/0 sur les transports de matières premières en faisant venir la houille sur la mine de fer.

Le Nord, cependant, dépourvu de minéral et riche en houille, a toujours bénéficié de la situation privilégiée que lui donne la proximité immédiate de la mer pour son approvisionnement en minerais qu'il recevait des Pyrénées, de Normandie, d'Espagne et de Suède. Dans les dernières années avant la guerre, il avait tiré aussi une partie de ses approvisionnements de la Lorraine à laquelle il fournissait, en échange, du coke métallurgique; de cette source, il a reçu, en 1913, plus de 1.200.000 tonnes de minette, moitié de Longwy et moitié de Briey. Des entreprises nouvelles, comme celle de *Pont-à-Vendin*, — fondée en participation par les mines de Lens et par la Société de Commentry-Fourchambault-Decazeville — étaient basées sur ce système d'échanges. Lorsque la reconstitution des houillères détruites par les Allemands sera faite, ce double courant de matières premières se développera au commun bénéfice des deux grandes régions industrielles.

Pour en revenir à l'emplacement le plus avantageux de l'usine sidérurgique, disons enfin qu'il est certains cas où, comme dans le Nord et le Pas-de-Calais, il y a intérêt à l'établir à mi-chemin entre le minéral et le charbon, généralement près d'un port de commerce qui recevra l'un et l'autre. Tel est le cas pour les usines du *Boucau*, de *Pauillac*, de *Trignac*, de *Caen*, de *Rouen*, d'*Outreau*, de *Calais* et de *Dunkerque*.

Quant à l'usine de dénaturation de la fonte, la raison d'économie de combustible et de transport la fait logiquement placer à côté du haut fourneau. Ainsi, la fonte encore liquide peut être décarburée, soit au convertisseur, soit sur sole, avec une moindre dépense de combustible.

De ce que nous venons de dire touchant la qualité des minerais dont disposent les régions de Lorraine et du Nord, il résulte naturellement que les produits finis fournis par ces deux centres seront de nature différente :

L'aciérie *Thomas de Lorraine* travaillant un minéral commun pro-

duit le gros tonnage : rail, poutrelles, profilés, tôles et larges-plats. Elle livre aussi des lingots et demi-produits aux autres départements.

Le *Nord*, qui traite des minerais importés, de qualité supérieure, pousse plus loin la dénaturation et est obligé de faire des produits plus chers. Disposant de riblons sur place, il fait du *Martin* et l'aciérie s'y est développée plus que le haut fourneau. En fait, on y rencontré beaucoup d'aciéries sans haut fourneau. Avec son acier *Martin*, il fabrique des tôles, des aciers marchands, des pièces de forge. Son acier *Thomas* fournit rails, poutrelles, aciers marchands.

Enfin l'acier *Bessemer*, dont la fabrication lui est rendue possible par la qualité de certains minerais importés (hématite de *Bilbao*), est utilisé aux moulages.

Les *Ardennes* ne comptent qu'un haut fourneau et ne possèdent pas de mines. Elles font du *Martin* avec de la fonte importée des départements voisins.

Le *Centre* (*Loire, Saône-et-Loire, Rhône, Nièvre et Allier*) a pu s'alimenter en minerai, autrefois à quelques gisements locaux (minières du Berry), mais cela ne saurait suffire aux productions actuelles. D'autre part, il produit du charbon à un prix élevé. Ces deux facteurs, qui lui sont contraires, l'ont obligé à abandonner la fabrication de la fonte, sauf en *Saône-et-Loire* qui, en raison de sa proximité de la Lorraine, importe de la minette ; ils l'ont également mis dans la nécessité de pousser aussi loin que possible la transformation de l'acier en produits de qualité et en matériel de guerre. On comprend ainsi que *Saône-et-Loire* fasse un peu de *Thomas* et davantage de *Martin*, et que la *Loire*, en dehors de ses aciers *Martin*, se soit fait une spécialité des aciers au creuset. La *Nièvre* ne fait également que des aciers de choix.

Parmi les autres départements gros producteurs, la *Loire-Inférieure* traite des minerais angevins et fait du *Thomas* et du *Martin* basique. L'*Aveyron* traite des minerais locaux et le *Gard* prend les siens, — purs de phosphore, — dans les Pyrénées et en Espagne.

Enfin, nous ne pouvons passer sous silence, bien qu'elle ne fournisse pas un gros tonnage, la région du *Sud-Est* qui est celle du four électrique, et englobe les départements de l'*Isère* et de la *Savoie*. Elle fournissait, en 1913, 10.087 tonnes d'aciers électriques sur 21.125 (*Tarn*, 2.043 tonnes), outre 286 tonnes d'acier au creuset.



## Production d'acier de 1913 à 1927.

La production globale d'acier brut a été la suivante de 1913 à 1927 :

1913	.....	4.686.866 tonnes
1914	1 <sup>er</sup> semestre..... 2.298.509	} ..... 2.655.854 —
	2 <sup>e</sup> semestre..... 357.345	
1915	.....	1.087.700 —
1916	.....	1.951.892 —
1917	.....	2.231.651 —
1918	.....	1.807.931 —
1919	.....	2.186.260 —
1920	.....	3.050.396 —
1921	.....	3.102.160 —
1922	.....	4.534.492 —
1923	.....	5.109.517 —
1924	.....	6.900.310 —
1925	.....	7.446.463 —
1926	.....	8.430.002 —
1927	.....	8.275.593 —

Cette production s'est partagée comme suit entre les différentes natures d'acier :

ANNÉES	MODE DE FABRICATION					PRODUCTION totale
	Convertisseur		Four Martin	Four à creusets	Four électrique	
	acide	basique				
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
1913	252.704	2.806.475	1.582.478	24.085	21.124	4.686.866
1914	74.767	1.505.225	1.040.079	35.783		2.655.854
1915	29.827	59.459	944.836	53.578		1.087.700
1916	69.794	543.529	1.290.833	33.307	44.429	1.951.892
1917	64.630	574.150	1.498.353	40.487	54.031	2.231.651
1918	79.596	345.041	1.312.625	42.447	58.222	1.807.931
1919	48.682	1.012.916	1.075.166	16.937	42.559	2.186.260
1920	60.188	1.656.972	1.255.420	20.036	58.080	3.050.396
1922	43.522	2.818.360	1.554.127	6.989	41.424	4.534.492
1923	70.957	3.007.828	1.968.148	14.946	47.638	5.109.517
1924	91.709	4.501.167	2.230.247	11.548	65.639	6.900.310
1925	78.903	5.175.815	2.103.469	12.843	75.433	7.446.463
1926	60.699	5.812.264	2.458.296	15.189	83.554	8.430.002
1927	63.534	5.856.547	2.251.256	11.573	92.683	8.275.593

### Production d'acier fondu pendant l'année 1927.

La production d'acier fondu pendant l'année 1927 s'est élevée à 8.306.256 tonnes dont 8.150.106 tonnes de lingots et 156.150 tonnes de moulages; elle avait été de 8.430.002 en 1926.

#### I. — PRODUCTION.

La production totale d'acier (lingots et moulages) se répartit ainsi :

a) Par régions en tonnes:

	EST	ALSACE ET LORRAINE	NORD	CENTRE	SUD- OUEST	SUD-EST	OUEST	FRANCE
1927..	3.203.193	2.734.540	1.299.291	399.530	68.355	113.919	487.428	8.306.256
0/0...	38,5	32,9	15,7	4,8	0,8	1,4	5,920	100
1928..	3.630.257	2.966.583	1.604.827	532.231	62.775	123.545	579.220	9.499.522
0/0...	38,3	31,2	16,9	5,6	0,7	1,3	6	100

b) Par nature de produits en tonnes:

	EST	ALSACE ET LORRAINE	NORD	CENTRE	SUD- OUEST	SUD-EST	OUEST	FRANCE
lingots .	3.599.193	2.951.383	1.496.138	496.072	60.900	118.677	569.611	9.291.974
moulages	31.064	15.200	108.689	36.249	Sud-Est et Sud-Ouest 6.743		9.409	207.554

c) Par qualité (lingots et moulages) en tonnes :

	ACIER Thomas	ACIER Bessemer	ACIER Martin	ACIER au creuset	ACIER au four électrique	FRANCE
1927..	5.880.532	70.559	2.252.492	11.599	91.074	8.306.256
0/0...	70,0	0,8	27,2	0,1	1,1	100,0
1928..	6.586.214	80.588	2.688.648	15.779	128.299	9.499.528
0/0...	69,3	0,9	28,3	0,2	1,3	100

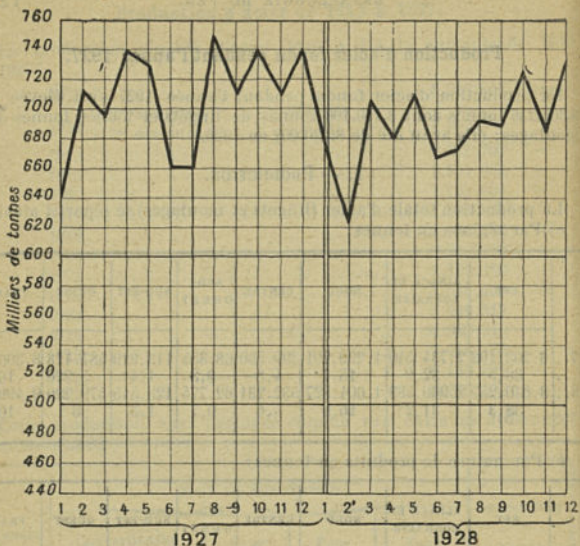


FIG. 8. — Graphique de la production mensuelle d'acier en 1927 et 1928.

Les tableaux suivants donnent des détails sur la répartition par régions et par nature de produits de la production des différentes qualités d'acier en tonnes :

a) Acier Thomas :

	EST	ALSACE ET LORRAINE	NORD ET OUEST	FRANCE
Lingots . . . . .	2.728.758	2.471.229	1.106.980	6.584.009
Moulages . . . . .				2.205



## b) Acier Bessemer :

	EST	NORD	CENTRE	AUTRES RÉGIONS	FRANCE
Moulages.....	15.015	53.618	7.859	4.098	80.588

## c) Acier Martin acide :

	FRANCE
Lingots.....	26.703
Moulages.....	4.182

## d) Acier Martin basique :

	EST	ALSACE ET LORRAINE	NORD	CENTRE	SUD- OUEST	AUTRES RÉGIONS	FRANCE
Lingots..	588.740	480.154	692.943	394.379	56.416	335.134	2.547.775

	EST ET ALSACE ET LORRAINE	NORD	CENTRE	AUTRES RÉGIONS	FRANCE
Moulages.....	29.481	49.946	23.050	7.511	109.988

## e) Acier au creuset :

	FRANCE
Lingots.....	15.074
Moulages.....	705

f) Acier au four électrique :

	CENTRE	SUD-EST	AUTRES RÉGIONS	FRANCE
Lingots .....	62.814	44.463	9.136	118.413
Moulages.....	4.498	5.388		9.886

**Consistance des usines à acier.** — En 1914, la France comptait 100 convertisseurs, 24 fours électriques et 1.253 creusets, 164 f. Martin. L'effectif des appareils disponibles aujourd'hui est le suivant :

a) Appareils à feu au 1<sup>er</sup> janvier 1928 :

GROUPES	CONVERTISSEURS		FOURS	FOURS à	FOURS élec-
	acides	basiques	Martin	creusets	triques
Est.....	17	42	26	7	3
Alsace et Lorraine.....	»	26	11	»	»
Nord.....	37	14	35	3	1
Centre.....	8	»	25	32	15
Sud-Ouest.....	»	»	2	»	6
Sud-Est.....	»	»	2	1	9
Ouest.....	5	5	10	»	1
TOTAUX.....	67	87	111 (1)	43	35

(1) Dont 3 fours acides et 108 fours basiques.

b) **Ouvriers.** — Les usines productrices d'acier ont occupé environ 88.665 ouvriers pendant l'année 1927.

**Demi-produits et produits finis.** — Voici la répartition de la production en blooms, billettes, largets, platines, etc., entre les diverses régions, pour l'année 1927 :

## Demi-produits en acier.

	ACIER Thomas	ACIER Martin	ACIER Bessemer électrique et creuset	ACIERS spéciaux	FER et acier soudés
Est.....	762.385	111.672	»	»	»
Alsace-Lorraine....	556.304	128.396	»	»	»
Nord.....	»	65.804	»	»	»
Centre.....	»	6.618	»	16.678	»
Sud-Ouest.....	240.739	952	»	»	»
Sud-Est.....	»	53.582	»	»	»
Ouest.....	»				
TOTAL.....	1.559.428	367.029	1.490	28.993	614

En 1924, 1925, 1926 et 1927, les produits finis se sont répartis comme suit :

	1925	1926	1927	1928
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Rails.....	497.394	595.120	593.995	536.724
Selles, éclisses, traverses .	127.409	144.633	164.316	45.640
Bandages de roues.....	60.874	56.868	65.443	78.525
Ressorts.....	10.918	7.349	»	»
Poutrelles et autres profilés.	827.018	848.848	778.248	837.775
Aciers marchands et aciers spéciaux en barres.....	1.701.962	1.986.341	1.941.963	2.370.277
Tôles.....	628.774	812.421	854.692	973.262
Larges-plats.....	44.828	50.216	42.125	62.012
Fer-blanc.....	67.591	63.132	59.252	79.585
Machine.....	407.162	416.683	405.054	447.810
Fils.....	99.838	107.784	119.497	158.166
Tubes et tuyaux.....	107.597	135.170	177.775	238.305
Pièces de forge.....	41.423	39.142	53.800	72.180
Moulages.....	155.190	93.661	»	»
Feuillards.....	73.176	102.161	173.780	157.111
Produits finis non dénom- més.....	52.201	27.081	11.150	410.043
TOTAL.....	4.903.355	5.486.610	5.421.100	6.467.412



**Consommation des matières premières des aciéries en 1924, 1925 et 1926, 1927.** — La consommation de matières premières des aciéries en 1924, 1925, 1926 et 1927 a été la suivante :

	1924	1925	1926	1927
	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Minerais.....	34.370	28.984	37.240	23.195
Fonte Bessemer.....	44.735	43.858	28.287	21.522
Fonte Thomas.....	5.144.668	5.898.909	6.657.603	6.665.922
Fontes sans manganèse (0. M.).	2.986	286	13.928	559
Fonte d'affinage.....	369.895	302.698	392.502	346.615
Fontes spéciales.....	206.075	216.581	227.106	188.213
Ferrailles et riblons.....	2.007.060	1.881.704	2.183.589	2.090.840
<b>TOTAL.....</b>	<b>7.809.789</b>	<b>8.373.017</b>	<b>9.540.255</b>	<b>9.336.864</b>

### Acier au creuset.

**Fabrication de l'acier au creuset.** — Cette fabrication est assez simple. Comme point de départ, on prend un acier brut (acier Bessemer ou Martin), on le place dans des creusets et on détermine la fusion du métal en plaçant les creusets dans des fours spéciaux (le four Siemens presque exclusivement), puis on laisse en repos la matière fondue et on la coule dans des lingotières.

On peut aussi prendre, comme point de départ, *fonte et fer*, mais ce procédé ne donne pas de résultats réguliers et n'est guère employé.

L'acier fabriqué au creuset est plus coûteux, mais d'une qualité supérieure exigée pour certains usages.

### Acier électrique.

(Voir à l'article : *Aciers spéciaux*, page 166.)

### Affinage par le vent.

**Procédé Bessemer.** — Procédé basé sur l'action de l'air sur la fonte dont il brûle le silicium et le carbone et qu'on *recarbure* légèrement à la fin de l'opération par addition de *spiegeleisen* très riche en carbone.

*Convertisseur.* — L'appareil employé est une cornue en tôle garnie intérieurement d'un revêtement en briques de 0<sup>m</sup>,30. On a réuni dans le tableau suivant quelques données sur le type courant, qui reçoit 5 tonnes de fonte :

Hauteur totale.....	2 <sup>m</sup> ,800 à 3 <sup>m</sup> ,000
Hauteur de la partie conique inférieure....	0 <sup>m</sup> ,60
Hauteur de la partie cylindrique.....	0 <sup>m</sup> ,80
Diamètre maximum de la partie cylindrique.	2 <sup>m</sup> ,50 extérieur 1 <sup>m</sup> ,50 intérieur
Diamètre minimum de la partie inférieure..	0 <sup>m</sup> ,75
Tuyères en terre réfractaire formant le fond de la cornue et présentant chacune 7 à 9 trous de 10 millimètres de diamètre, hauteur .....	0 <sup>m</sup> ,80
Bolte à vent, hauteur.....	0 <sup>m</sup> ,10
Hauteur du bain de fonte .....	0 <sup>m</sup> ,35 à 0 <sup>m</sup> ,400

Pression du vent : 1<sup>kg</sup>,24 à 1<sup>kg</sup>,32 par centimètre carré.

Volume d'air à fournir : 25 à 30 mètres cubes par 100 kilogr. de fonte.

Pour les *machines soufflantes* à employer, ce sont habituellement des machines horizontales à deux cylindres conjugués.

La fonte qui convient le mieux pour ce traitement doit contenir :

Si.....	1 à 2 0/0
Mn.....	1,5 à 2 0/0
Ph.....	très peu

L'addition du spiegeleisen peut être remplacée par une addition du ferro-manganèse riche en Mn, qui s'ajoute à l'état solide, chauffé seulement, tandis que le spiegeleisen s'ajoute à l'état fluide.

*Conduite du travail.* — Chauffer la cornue au rouge. Couler dans la cornue 5 à 6 tonnes de fonte. Relever la cornue en donnant le vent. Souffler pendant quinze à vingt minutes. Ajouter 10 0/0 de spiegeleisen. Couler. Durée totale d'une opération, dix-sept à vingt-cinq minutes.

Au point de vue chimique, on distingue trois parties dans l'opération :

1° Oxydation des matières étrangères contenues dans la fonte, formation des scories, deux à six minutes :

Flamme jaune orangé rougeâtre, pas de fumée ;

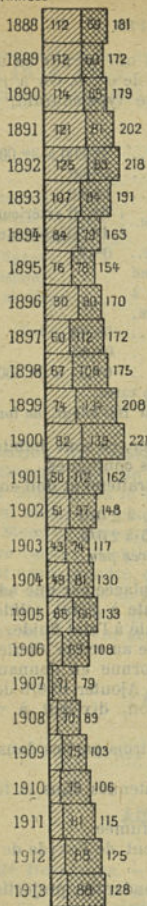
2° Décarburation de la fonte, dégagement de l'oxyde de carbone, huit à dix minutes :


Flamme brillante, blanche, étincelles abondantes, projections ;

Flamme lilas lorsque l'opération est terminée ;

3° Recarburation, une à quatre minutes :

Années



 District du Nord (Nord et Pas-de-Calais)


 Autres départements

Fig. 9. Déclin du procédé Bessemer.



Flamme vive.

On coule dans des *lingotières* verticales formées de deux pièces et ayant 1<sup>m</sup>,10 à 1<sup>m</sup>,40 de hauteur, avec une section de 0<sup>m</sup>,210 sur 0<sup>m</sup>,445 en bas et 0<sup>m</sup>,235 sur 0<sup>m</sup>,470 en haut.

*Résultats obtenus.* — On peut résumer comme suit les résultats obtenus dans les conditions normales :

Charge moyenne.....	5.000	kilogr.
Addition de spiegel.....	500	—
Charge totale par opération.....	5.500	—
Nombre d'opérations par douze heures. . .	10	—
Poids de chaque lingot.....	300	—
Déchet, variable avec les projections.....	10 à 15	0/0
Rendement en acier brut.....	0,85 à 0,90	
Production en acier brut par douze heures.	45.000	kilogr.

**Déclin du procédé Bessemer.** — Le graphique ci-contre (*fig. 9*) donne la *production de l'acier Bessemer* en France depuis 1888 et la *répartition* de cette production entre le *district du Nord* (départements du Nord et du Pas-de-Calais), et l'*ensemble des autres départements* français (au nombre desquels n'a jamais figuré celui de Meurthe-et-Moselle).

La stagnation, puis le recul de l'acier Bessemer contrastent d'une manière frappante avec le développement de l'acier Thomas. Partie de 181.000 tonnes en 1888, la production française d'acier Bessemer a d'abord présenté, pendant une douzaine d'années, des variations peu importantes, tant en hausse qu'en baisse; elle a même passé, dans l'année de prospérité 1900, par un maximum de 221.000 tonnes; mais, depuis cette époque, sa décroissance s'est nettement accusée. Elle n'était plus, en 1913, que de 128.000 tonnes, soit 2,75 0/0 seulement de la production totale d'acier, bien que le développement de la fabrication des moulages d'acier au petit convertisseur acide ait apporté, depuis quelques années, un débouché intéressant à l'acier Bessemer qui perd de plus en plus de terrain dans le domaine des produits laminés et même du rail, produit qui lui appartenait jadis exclusivement. En 1913, la France a fabriqué 369.542 tonnes de rails en acier Thomas, 33.067 tonnes en acier Martin et 58.464 tonnes seulement en acier Bessemer provenant des deux départements du Gard et des Landes. Ces chiffres englobent les éclisses et traverses.

Dans le district du Nord, l'évolution était terminée avant la guerre, et l'on n'y faisait plus de laminés en acier Bessemer.

C'est en 1897 que l'aciérie de Denain, après avoir simultanément fabriqué, pendant une courte période de transition, les deux catégories d'acier au convertisseur, abandonnait définitivement l'acier acide; dix ans plus tard, l'aciérie d'Isbergues l'abandonnait à son tour. L'acier de

du Nord qu'en vue de la fabrication des moulages, qui y a pris assez vite un important développement. Le tonnage de 1913 s'élève à 32.702 de moulages Bessemer, pour le département du Nord; on en comptait, d'autre part, dans l'Aisne 1.200 tonnes; dans la Loire, 1.825 tonnes; dans la Loire-Inférieure, 860 tonnes; dans la Meuse, 3.150 tonnes; dans la Seine, 2.480 tonnes et dans les Ardennes, 50 tonnes.

Les appareils employés pour la conversion de la fonte Bessemer dans ces fonderies d'acier sont, comme on le sait, de *petits convertisseurs à soufflage latéral*, de 1 à 3 tonnes de capacité, dont les conditions de fonctionnement diffèrent assez notablement de celles du convertisseur Bessemer normal, à soufflage par le fond, et d'une capacité bien supérieure. Ces mouleries d'acier Bessemer travaillent en seconde fusion; les cubilots qui les alimentent refondent un mélange de scraps et masselottes de la fonderie et de fonte Bessemer suffisamment riche en silicium et en manganèse pour permettre, tout en utilisant ainsi les déchets de la fabrication des moulages, de livrer à l'aciérie une fonte de composition convenable pour la conversion Bessemer.

L'un des systèmes qui a donné le meilleur résultat est le type Champallier construit par la Société Sidérofour, dont quantité d'installations existent en France (Denain, Soissons, etc.).

Les usages de l'acier moulé Bessemer sont très nombreux, tant pour le matériel fixe que pour le matériel roulant: roues, boîtes à graisse, butoirs et boisseaux, consoles, sabots, supports, guides et ferrures diverses de locomotives, tenders, voitures, wagons et wagonnets, appareillage de voies de chemin de fer, engrenage et pièces de machines de toutes sortes, ponts, charpentes, enclumes, ancres, bâtis de dynamos, matériel de sucrerie, distillerie, brasserie, etc. Les produits en acier moulé au petit convertisseur conserveront encore pendant longtemps une certaine vitalité au convertisseur acide.

**Procédé basique Thomas.** — Ce procédé se prête admirablement au traitement des minerais riches en phosphore. La cornue est revêtue intérieurement avec de la *dolomie calcinée*. La fonte qui convient le mieux pour ce procédé doit contenir :

Si.....	0,5 0/0
Mn.....	2 à 3 0/0
C.....	3 à 4 0/0
Ph.....	2 à 3 0/0

Si la fonte contient moins de 2 0/0 de *phosphore*, elle cesse d'être traitable par ce moyen. Avant de donner le vent, on ajoute à la fonte de 12 à 14 0/0 de chaux vive. On continue à souffler pendant cinq ou

six minutes après la disparition des flammes, c'est la période de *soufflage*.

On prend pour se rendre compte du degré de déphosphoration une éprouvette.

On la forge rapidement sous forme de disque ou barrette aplatie, on la trempe dans l'eau et on l'essaie au pliage.

Elle doit se plier sur elle-même sans crier. Si l'éprouvette est cassante, on continue le soufflage.

**Développement de l'acier Thomas.** — Les chiffres qui suivent font ressortir, pour la période de 1900 à 1913, la progression de l'acier Thomas brut pour l'ensemble de la France et pour chacun des départements producteurs.

De 220.000 tonnes seulement en 1888, où elle ne représentait encore que 37,60/0 de notre production totale d'acier, la production française d'acier Thomas s'est développée d'une façon très rapide et, pour ainsi dire, ininterrompue, abstraction faite de deux légers reculs en 1901 et 1908. En 1900, elle était de 763.000 tonnes, soit 46,8 0/0 de notre production totale; elle s'élevait en 1913, à 2.930.788 tonnes, ce qui représentait 62,5 0/0 du total.

Nous décrivons sommairement deux aciéries Thomas, datant l'une de 1900 (aciérie de Denain) et l'autre mise en marche en 1912; ce qui permettra de se rendre compte des progrès réalisés dans cette décade.

**Aciéries de Denain.** — Cette aciérie, détruite par les Allemands, comptait quatre *convertisseurs* de 15 tonnes (rendement net) disposés en ligne suivant le type allemand, avec halle de coulée rectiligne indépendante sur le prolongement de l'atelier de conversion. Le bâtiment des *convertisseurs* n'était pas muni de toit (aciérie découverte).

La fonte, arrivant des fourneaux, passait tout d'abord par l'intermédiaire d'un *mélangeur* qui assurait à la fois la régularité de composition et de livraison de la fonte à l'aciérie, en même temps qu'il réduisait encore sa teneur en soufre, déjà très faible. Les *mélangeurs* à revêtement magnésien, au nombre de deux, avaient une contenance de 120 tonnes; ils n'étaient pas chauffés. Enfin deux grands *cubilots* pouvant produire de 15 à 20 tonnes à l'heure refondaient la fonte coulée en gueuses les dimanches et jours de fête; cette fonte de seconde fusion passait également par le mélangeur.

Les *convertisseurs* avaient 3<sup>m</sup>,260 de diamètre extérieur à la tôle dans la partie cylindrique, 2<sup>m</sup>,150 de diamètre intérieur, et 5 mètres de hauteur totale intérieure du fond au bec; l'épaisseur du fond était de 600 millimètres. Fond, à tuyères en magnésie: dix-neuf tuyères de neuf trous chacune. Garnissage, en brique de dolomie, le fond en pisé dolomitique. La durée des garnissages était en moyenne de 300 charges, celle des fonds de 70.

Deux cubilots à fondre le *siège* et un four à réchauffer le ferromanganèse complétaient l'installation.



Le service de la *coulée de l'acier* était fait par un chariot à vapeur (à poche commandée hydrauliquement) circulant parallèlement à la ligne des convertisseurs et au-dessous. Ce chariot de coulée transportait la poche à acier à la halle de coulée placée sur le prolongement de l'atelier des convertisseurs ; dans cette halle, la voie du chariot était bordée, à droite et à gauche, par deux fosses de coulée rectilignes contenant les lingotières. Deux ponts roulants électriques effectuaient l'un le démoulage, l'autre le transport des lingots sur les trucks les emmenant aux laminoirs.

Dans un bâtiment spécial se trouvaient la *machine soufflante* donnant le vent aux convertisseurs à une pression pouvant aller jusqu'à 3 atmosphères, et les pompes fournissant l'eau sous pression à 65 kilogrammes pour la commande hydraulique des mouvements des convertisseurs. La soufflante était une machine horizontale compound pouvant développer, à la vitesse de 45 tours, une puissance de 2.500 chevaux. Diamètre du cylindre HP : 1<sup>m</sup>,300, du cylindre BP : 2 mètres, des deux cylindres à vent : 1<sup>m</sup>,650 ; course commune : 1<sup>m</sup>,700. Volume théorique aspiré par tour : 14<sup>m</sup>³,5, pression du vent variant habituellement de 1<sup>kg</sup>,5 à 2<sup>kg</sup>,25 et pouvant atteindre 3 kilogrammes.

Au point de vue de la *conduite de l'affinage*, on peut signaler que la chaux (environ 15 0/0 du poids de la fonte) était chargée en deux fois, le convertisseur ne recevant, au début de l'opération, que les deux tiers de la quantité de chaux nécessaire, le reste étant ajoulé au début du soufflage. D'une façon normale, deux convertisseurs étaient simultanément en route : une opération étant en pleine marche tandis qu'une autre commençait (chargement de la chaux et de la fonte) ou finissait (additions finales, coulée de l'acier). La durée totale d'une opération était d'une vingtaine de minutes, dont onze minutes de soufflage, et deux à deux minutes et demie de sursoufflage. En quatorze heures, l'aciérie faisait aisément cinquante charges, donnant net 750 tonnes de lingots Thomas : le chiffre de 800 tonnes avait été atteint.

La fonte moyenne livrée par le mélangeur tenait 0,5 à 0,55 de Si, 1,5 à 1,6 de Mn, 1,7 à 1,8 de Ph et 0,03 à 0,04 de S. Le déchet de feu au mélangeur était de 1,25 à 1,30 0/0.

Le poids normal des lingots était voisin de 3 tonnes, soit 5 lingots par coulée de 15 tonnes d'acier.

*Aciéries de Valenciennes.* — La *Société des forges et aciéries du Nord et de l'Est*, possédait en activité une aciérie ancienne à deux convertisseurs (de 12 à 13 tonnes de rendement net) installée en 1881-1882 et conforme au type autrefois classique dans les aciéries Bessemer américaines. Cette aciérie qui, jusqu'à la mise en route des fourneaux de Valenciennes, peu avant la guerre, avait exclusivement marché en seconde fusion et à un seul poste, travaillait en dernier lieu à deux postes avec un mélange de fonte de première fusion livrée par les hauts fourneaux et de fonte de seconde fusion,

arrivant toujours de Jarville (Meurthe-et-Moselle), et refondue dans les cubilots de Valenciennes ; cette fonte de seconde fusion ne fournissait plus qu'une part assez faible de la consommation des convertisseurs dans la marche transitoire alors pratiquée, en attendant la mise en route de la nouvelle aciérie Thomas, qui eut lieu vers 1913.

La *nouvelle aciérie*, établie pour une capacité de production de 500 à 1.000 tonnes par vingt-quatre heures, devait rivaliser, sous le rapport de la puissance et des progrès techniques, avec les installations les plus modernes et les plus productives de Meurthe-et-Moselle et d'Allemagne.

Elle comprenait ;

Deux *mélangeurs cylindriques* chauffés, de 250 tonnes, desservis par un pont roulant de 40 tonnes ;

Deux *cubilots* à fonte d'une capacité de production de 20 tonnes à l'heure, placés à [côté des mélangeurs, en vue de refondre la fonte coulée en gueuses les dimanches et fêtes ;

Quatre *convertisseurs* de 20 tonnes de rendement net, placés sur la même ligne que les mélangeurs, et les cubilots, et desservis : pour le chargement par un pont roulant, pour la vidange par un chariot de coulée :

Une *halle de coulée* desservie par quatre ponts roulants et permettant de faire des lingots de dimensions très variables pesant de 160 à 3.500 kilogrammes.

Une *machine soufflante* à vapeur, type Cockerill, horizontale, compound, à condensation. Diamètre du cylindre HP : 1<sup>m</sup>,150, du cylindre BP : 1<sup>m</sup>,950, des deux cylindres à vent 1<sup>m</sup>,700 ; course commune : 1<sup>m</sup>,700. Volume théorique aspiré par tour : 15<sup>m</sup>³,4 ; débit en mètres cubes aspirés pouvant atteindre 900 mètres cubes par minute, avec une pression de refoulement de 2<sup>kg</sup>,5. Cette machine était doublée par une *soufflante à gaz* de 2.500 chevaux (deux lignes en tandem calées à 90° et comprenant chacune un cylindre à vent et deux cylindres à gaz à quatre temps et à double effet). Dans la halle des soufflantes, un service d'eau sous pression, comportant une pompe horizontale à vapeur et trois pompes électriques pouvant refouler chacune 1.000 mètres cubes d'eau par minute à la pression de 500 kilogrammes.

L'aciérie était complétée par un atelier pour la *fabrication des produits dolomitiques*, comprenant des cubilots à dolomie à grande production, deux moulins à mâchoires, deux grands moulins à meules, deux malaxeurs à double hélice, une installation complète d'eau sous pression, une presse hydraulique, une machine à damer les fonds de convertisseurs, et tous les accessoires correspondants pour la cuisson du goudron et des fonds.

Enfin, la nouvelle aciérie comportait un atelier de *broyage de scories*,

commandé électriquement et permettant de traiter en vingt-quatre heures les scories de 1.000 tonnes d'acier, soit environ 200 tonnes. Cette fabrication de la farine Thomas, en vue de la vente à l'agriculture comme engrais phosphaté, fut d'ailleurs pratiquée de longue date par la Société des forges et aciéries du Nord et de l'Est. L'atelier de broyage, alimenté par l'ancienne aciérie Thomas, produisait par jour une centaine de tonnes de scories de déphosphoration moulues en farine, tenant de 18 à 20 0/0 de  $P_2O_5$  (dont 96 0/0 solubles dans le réactif de Wagner), 50 0/0 de CaO, 1 à 2 0/0 de MgO, 8 à 10 0/0 de  $SiO_2$ , 12 à 15 de FeO et MnO. La finesse de mouture était telle que 85 à 90 0/0 de la farine passaient à travers le tamis à trous de 17/100 de millimètre. La teneur de cette farine en acide phosphorique et en chaux était très régulière et supérieure à la moyenne des scories de déphosphoration produites par les aciéries Thomas.

*Avenir de l'acier basique dans le Nord et le Pas-de-Calais.* — La tendance des hauts fourneaux de cette région à consommer de plus en plus de minette de Lorraine, permet d'y prédire un brillant avenir au procédé basique. Les deux départements faisaient déjà, en 1913, 575.000 tonnes de Thomas, soit 52,5 0/0 de leur tonnage d'acier.

Nous devons signaler le procédé de soufflage en deux temps (1) qui permet de traiter une fonte quelconque et comme type la fonte Cleveland à 1 0/0 de phosphore et 1 0/0 de silicium.

Si ce procédé arrive à se classer, il permettra de libérer le haut fourneau des limites étroites que constitue pour lui la fonte type Thomas.

Il est utilisé couramment par certaines usines et en essai dans d'autres (2).

**Procédé Martin-Siemens.** — Ce procédé consiste dans la fabrication du fer et de l'acier sur la sole d'un four Siemens. La masse principale de la charge est formée des débris de fer doux, de riblons, de ferrailles, etc., et c'est dans cette grande consommation de ferraille que consiste surtout l'économie de ce procédé. Le procédé Martin, comme le procédé d'affinage par le vent, est *acide* ou *basique*, suivant la composition de la sole du four. Les *soles des fours acides* sont faites en matériaux siliceux. Ordinairement, on met du sable en gros grains mélangé avec 2 à 5 0/0 d'argile réfractaire. L'épaisseur est de 0<sup>m</sup>,50.

*Pour établir une sole basique*, on emploie la magnésie. Quelquefois, on garnit la sole de fer chromé. L'épaisseur de la sole est de 0<sup>m</sup>,30 à 0<sup>m</sup>,45.

Les fours Siemens sont pourvus de quatre chambres pour le chauffage des gaz et de l'air. La longueur de ces chambres est de 2<sup>m</sup>,50 à 2<sup>m</sup>,75; leur hauteur, de 2 mètres à 2<sup>m</sup>,25.

(1) Ce procédé est dû à M. Rencenne, aciériste très distingué.

(2) Voir *Technique moderne* (renvoi, p. 61).



La largeur des chambres à air est de 1<sup>m</sup>,50 à 1<sup>m</sup>,70 ; celles des chambres à gaz, de 1<sup>m</sup>,10 à 1<sup>m</sup>,20.

Les soles des fours sont rectangulaires et légèrement concaves. — Elles sont en sable réfractaire fortement battu.

Pour des charges de 5 à 7 tonnes, les dimensions intérieures sont de :

Longueur..... 2<sup>m</sup>,75 à 3 mètres | Largeur..... 1<sup>m</sup>,80 à 2 mètres

pour des charges de 10 tonnes :

Longueur..... 3<sup>m</sup>,75 à 4 mètres | Largeur..... 2<sup>m</sup>,10 à 2<sup>m</sup>,25

La profondeur du bassin au-dessous de la voûte est de 1 mètre à 1<sup>m</sup>,25.

Tandis que le procédé Bessemer réclame des fontes *siliceuses* et ne dure qu'une demi-heure, le procédé Martin traite des fontes *peu siliceuses* et dure huit à dix heures, ce qui permet de prendre de nombreux essais et d'arrêter l'opération à un degré d'affinage nettement défini.

On peut distinguer trois *variantes* dans le procédé Martin ; mais, dans les trois cas, le travail se termine de la même façon : on *outrépasse* l'affinage proprement dit, puis l'on réduit le fer oxydé, comme dans le procédé Bessemer, par des additions de ferro-manganèse ou de fonte spéculaire.

La *première variante* consiste à dissoudre simplement des barres de fer dans un bain de fonte.

Dans la *deuxième variante*, on remplace une partie du fer par du minerai riche. On hâte ainsi l'affinage et l'on diminue le déchet. La proportion du minerai varie de 10 à 25 0/0 du poids de la fonte.

Dans la *troisième variante*, le fer en barres est remplacé par des *loupes* de fer brut ou par des *éponges* provenant de la réduction directe de minerais riches.

Notons encore que l'on peut hâter l'affinage en substituant au four fixe le four à chariot incliné rotatif Pernot.

A Terre-Noire, où l'on a adopté la première variante, on consommait par tonne de lingots d'acier doux : 500 à 600 kilogrammes de houille. Le déchet est de 5 à 7 0/0.

Une charge de 5 tonnes se compose en général de :

Fonte.....	1.400 à 1.500 kil.
Vieux rails.....	2.800 3.000 —
Rognures d'acier.....	800 900 —
Ferro-manganèse.....	100 110 —
TOTAL.....	5.000 à 5.500 kil.

A Landore, près de Swansea, où l'on a adopté la deuxième variante on charge par opération :

Fonte.....	4.200 à 4.650	kil.
Fer doux.....	850	1.000 —
Minerai riche.....	750	1.000 —
Rognures d'acier.....	750	800 —
TOTAL.....	7.000 à 7.450	kil.

Il faut ajouter le minerai par faibles doses de 100 kilogrammes pour éviter la corrosion des parois du four.

On obtient en lingots un poids égal à celui de la fonte et du fer réunis. La consommation est de 500 à 600 kilogrammes de houille par tonne et l'on fait aussi trois opérations par vingt-quatre heures.

Dans des fours à sole basique, il est bon de charger avant tout une couche de calcaire ou de chaux qui est calculée d'après la quantité de phosphore et de silicium dans la charge. On charge, du premier coup, la fonte, le fer et l'acier, ce qui abrège l'opération. La fonte employée dans le procédé acide ne doit jamais contenir plus de 0,1 0/0 de Ph. Sur la sole basique, *la quantité du phosphore peut être quelconque*, pourvu que la quantité de calcaire soit suffisante; mais, en général, pour marcher plus vite, on préfère la fonte qui *ne dépasse pas 0,5 0/0 de Ph.*

La production d'un four de 10 tonnes, par exemple, sera de 30 tonnes par vingt-quatre heures, s'il est à sole acide, et de 20 à 25 tonnes par vingt-quatre heures s'il est à sole basique.

Le prix de revient de l'acier Martin est plus élevé que celui de Bessemer, mais sa qualité est aussi supérieure pour certaines applications (pour moulage). Le prix de revient du métal fabriqué sur la sole acide est supérieur à celui de la sole basique.

La seule *méthode de travail* appliquée jusqu'ici dans le Nord est le *procédé au riblon*; la proportion de fonte dans la charge varie, suivant les cas, entre 25 et 32 0/0. La fonte employée est généralement de la fonte *hématite*, pure de soufre et de phosphore, moins siliciée et plus manganésée que la fonte hématite de fonderie. Nous citerons comme exemple la fonte hématite pour fours Martin de la Société de Denain et Anzin, tenant 1,4 à 1,8 0/0 de Si, 2,4 à 2,6 0/0 de Mn, 0,02 à 0,04 0/0 de S et 0,08 à 0,1 de Ph. Quelques aciéries Martin emploient de la fonte phosphoreuse (fonte de minettes). Avant la guerre, tous les fours étaient d'ailleurs à *sole basique*, à l'exception des deux petits fours acides de la fonderie de MM. Domange frères, à Denain et d'un des fours des forges de Douai (le moins grand) qui était muni d'un garnissage acide, toutes les fois qu'il devait fabriquer des éléments de canon ou des aciers spéciaux pour les blocs à matrices. En dehors de la facilité de réglage tenant à la lenteur relative de la décarburation sur sole acide, cette sole offre surtout l'avantage de

permettre d'obtenir des aciers durs moins manganésés qu'ils ne le sont habituellement en basique ; c'est là le principal motif qui fait conserver encore le four acide par quelques usines pour certaines fabrications.

Indispensable sur sole acide, l'emploi de matières premières pures était, comme nous l'avons dit, la règle dans la plupart des aciéries Martin basiques du Nord. Cette règle s'appliquait non seulement à la fonte (hématite), mais encore aux chutes et riblons, pour lesquels on fixe généralement une teneur maxima en phosphore, en utilisant de préférence des chutes Martin, et faisant, le cas échéant, un choix judicieux parmi les chutes Thomas et les riblons du commerce. Dans ces conditions, la sole basique (épurante au point de permettre la fabrication de bons aciers avec les matières premières les plus impures) assure l'obtention d'un produit de qualité exceptionnelle sensiblement plus pur en Ph et aussi en S que les meilleurs aciers acides.

Il est intéressant de noter que la formule de travail du Nord, celle du Martin basique choisissant (et non subissant) ses matières premières, n'a nullement entravé l'essor de l'acier sur sole dans ce district, et cela en raison de sa situation littorale. Ces usines à fonte se trouvent, en effet, soit sur le bord même de la mer, soit reliées à celle-ci par les canaux qui les desservent; elles bénéficient de cette situation pour la fabrication des fontes hématites avec les minerais purs arrivant par mer d'Algérie, d'Espagne et de Suède.

Les variantes récentes du procédé Martin (*Talbot et Bertrand-Thiel*) ne paraissent pas appelées à s'implanter dans le district du Nord, elles ne sont intéressantes que dans le cas où l'on doit marcher avec un haut pourcentage de fonte. Le procédé Bertrand-Thiel est alors particulièrement indiqué si la fonte est très phosphoreuse : il a été jadis appliqué dans une aciérie Martin, du Nord, qui est revenue ensuite à la formule habituelle de travail.

En même temps que la fabrication du métal Martin prenait, au cours du dernier quart de siècle, un développement mondial considérable, beaucoup plus rapide encore que celui de l'acier de conversion, le *four* lui-même (à ne considérer que le four fixe, presque seul employé en Europe, avant la guerre, où les fours oscillants d'Amérique ne s'étaient guère répandus) tendait vers un type général caractérisé par un certain nombre de dimensions et de rapports fondamentaux; ce type étant d'ailleurs susceptible de quelques variantes de détail.

Une évolution analogue s'était produite déjà dans certaines usines françaises, et notamment dans la région du Nord. Elle paraît s'être généralisée depuis lors et s'être même étendue aux aciéries Martin, de la Loire, qui, peut-être en raison de leur situation exceptionnelle au point de vue des fabrications spéciales, ne s'étaient pas jadis



préoccupées de la question « construction » autant que l'avaient fait les usines du Nord, pour lesquelles l'augmentation de la production et la diminution du prix de revient présentaient une importance beaucoup plus grande.

On peut résumer comme suit les principales caractéristiques du four Martin moderne.

1. Tendance à l'augmentation des dimensions du four dans les limites compatibles avec les conditions générales du travail au Martin, d'une part, et de l'autre, les sujétions particulières imposées par la nature de la fabrication (dans le Nord, les plus grands fours Martin de construction récente étaient de 40 tonnes).

2. Allongement et aplatissement de la sole : le rapport de la longueur à la largeur du four varie entre 2,5 et 3 ; la longueur, en rapport avec la longueur de la flamme et la convergence des brûleurs, ne descend jamais, même pour les fours d'une douzaine de tonnes, au-dessous de 6 mètres, et varie aux environs de 8 mètres pour les fours de 20 à 25 tonnes ; la surface de la sole est d'au moins 1 mètre carré par tonne de capacité du four.

3. Carneaux d'air et de gaz superposés et assez fortement convergents, les uns et les autres plongeant vers la sole sous des angles variables, beaucoup plus grands pour l'air que pour le gaz, mais inférieurs à certaines limites dépendant de la nature du gaz et des dimensions caractéristiques du four ; grande longueur des carneaux et particulièrement des carneaux de gaz qui peuvent atteindre jusqu'à 4 mètres et 4<sup>m</sup>,50 ; sections de passage largement calculées, la surface totale des brûleurs d'une tête variant de 400 à 500 centimètres carrés par tonne de capacité du four et la section des carneaux d'air variant (suivant la nature du gaz et la pression de soufflage du gazogène) des 5/8 aux 2/3 de la section totale.

4. Chambres de récupération de grand volume, une paire de chambres contenant de 3 à 4 mètres cubes d'empilages par tonne de capacité du four et la chambre à air représentant des 5/9 aux 3/5 du volume total d'une paire de régénérateurs ; encadrement des chambres à air par les chambres à gaz ; forme élancée des empilages, dans les limites compatibles avec les conditions pratiques de construction du four et aussi avec le danger des engorgements (surtout à craindre dans la marche à l'ore process, à raison de l'entraînement des poussières de chaux et de minerai, mais beaucoup moindre avec la marche au riblon, seule pratiquée dans le Nord) ; généralisation de l'usage de fausses chambres à poussières, tant pour augmenter la durée de service des empilages que pour y régulariser la répartition des fumées.

On peut signaler enfin l'emploi de chargeuses électriques (aciérie de Denain), avantageux au point de vue de l'économie de temps et de main-d'œuvre, lorsque le tonnage de la batterie de fours à desservir justifie une semblable installation.

Les fours Martin modernes du Nord faisaient de trois à quatre opérations par vingt-quatre heures et dépassaient même parfois ce dernier chiffre ; dans ces conditions, la consommation de combustible, rapportée à la tonne de lingots, varie entre 350 et 200 kilogrammes et descend parfois au-dessous de 200.

**Lutte entre les procédés Martin et Thomas.** — La France, l'Allemagne et le Luxembourg se trouvaient, avant 1914, à peu près dans la même situation au point de vue des approvisionnements en minerais de fer ; leur plus gros appoint à l'une et à l'autre était fourni par le gisement phosphoreux de Lorraine, d'où prédominance du procédé Thomas des deux côtés de la frontière.

Ce dernier, qui avait été le principal facteur du développement de la métallurgie aussi bien en France que dans le Zollverein, au cours des trente dernières années, semblait, néanmoins, avoir atteint son apogée, le Martin basique réagissant avec succès.

Au Congrès de Dusseldorf, en 1910, M. le professeur Anglès d'Auriac, ingénieur en chef des Mines, entrevoyait même, pour les pays considérés, un état d'équilibre qu'il croyait déjà atteint. A son sens, si considérable que dût être, dans un avenir prochain, le développement de l'extraction dans le district de la minette, le pourcentage de l'acier Thomas ne pourrait pas croître beaucoup — si tant est même qu'il dût croître, — aux dépens du pourcentage de l'acier Martin.

*Que s'est-il passé depuis lors ?*

Le tableau ci-dessous, dont les coefficients sont fournis entièrement par les calculs de M. Descroix d'après les statistiques allemandes en ce qui concerne ce pays et d'après les statistiques françaises pour les années 1912 et 1913, va nous l'apprendre.

ANNÉES	MARTIN		BESSEMER		THOMAS	
	France	Allemagne	France	Allemagne	France	Allemagne
	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
1908	36,2	35,8	2,9	3,4	60,5	59,8
1909	35,1	33,7	3,3	1,3	61,3	64,0
1910	33,7	37,3	3,4	1,3	63,3	60,0
1911	35,0	38,5	3,0	1,3	62,0	59,6
1912	32,7	39,0	2,8	1,3	63,6	58,7
1913	33,8	40,0	2,7	1,3	62,5	57,5

En réalité, tandis que l'équilibre s'établissait en France, en Allemagne, au contraire, il y avait régression très nette du procédé Thomas, au bénéfice du Martin. Fait curieux, alors que l'Allemagne blo-

quée faisait étalage de ses besoins de minerai lorrain dans ses feuilles officieuses et dans des rapports, très documentés en apparence, de ses plus réputés spécialistes, elle continuait à développer sa fabrication d'acier Martin basique avec une telle régularité que l'accroissement de pourcentage du Martin total (acide + basique), de 1908 à 1916, est sensiblement linéaire sauf deux fléchissements, en 1909 et 1916 :

	1914	1915	1916
Pourcentage du Martin . . . . .	41,5	42,5	42,3

A quoi faut-il attribuer ce regain de faveur? Bien plus au souci de se procurer en quantité suffisante l'acier de bonne qualité nécessaire aux fabrications fines, notamment à celle des armements, qu'au seul besoin d'utiliser les chutes. A ce dernier point de vue, en effet, l'Allemagne avait dépassé le régime d'équilibre entre ses disponibilités en mitraille et ses besoins, puisqu'en 1918 elle importa net (exportations déduites), 117.000 tonnes de ferraille et riblons.

Il y a également une autre raison, c'est qu'en *Westphalie* et *Prusse rhénane* (*Sarre exclue*), pays assez comparables à notre district du Nord quant à la situation géographique et à la variété des sources d'approvisionnement, on consomme un fort tonnage de minerai de Suède difficile à fondre. Ce minerai, mélangé à la minette calcaire, donne un excellent lit de fusion et fournit une fonte qui, par sa teneur en phosphore, convient particulièrement au Martin basique.

Il est permis de penser que, privée de ses approvisionnements en minette la *Westphalie* s'orientera davantage encore, à l'avenir, vers le Martin basique. Elle se heurtera, d'autre part, à la pénurie de riblons, qu'elle a déjà connue durant la guerre. En résumé, elle tendra, avec l'Allemagne entière, vers un nouvel état d'équilibre où le Martin aura une place plus large qu'en ces dernières années.

Quant à la France, on peut inférer de ce qui s'est passé en Allemagne que, malgré l'abondance de minerai phosphoreux, elle ne verra plus croître très sensiblement son pourcentage d'acier Thomas, sauf peut-être durant la période de reconstitution au cours de laquelle les fabrications de Lorraine récupérée (et de Sarre) auront un poids prépondérant.

**Traitement du métal obtenu par fusion.** — On coule, dans le procédé au convertisseur comme aussi dans le procédé Martin-Siemens, des gros lingots qu'on passe au dégrossisseur.

« *Pits* » à lingots. — Si la fabrication est suffisamment active pour que les coulées se succèdent et que les lingots puissent arriver au laminoir peu de temps après leur coulée, on peut se passer du réchauffage en mettant les lingots dans des *pits*. Ce sont des



chambres étroites dont les parois sont construites en briques réfractaires et dont le fond est couvert de coke. Ces chambres sont chauffées au rouge vif par des charges antérieures. Les lingots séjournent dans ces pits de huit à dix minutes avant de les faire passer au blooming. Le déchet, dans ces puits, est de 1 0/0, moins qu' dans des fours à réchauffer; aussi l'économie de combustible est importante. Si la fabrication n'est pas assez active, la température des lingots tombe au-dessous de celle qui convient pour l'étirage. Dans ce cas, les pits peuvent encore être employés, mais on est obligé de les chauffer. Ordinairement, on les chauffe au gaz qui est brûlé dans une chambre voisine du pits pour éviter d'exposer les lingots à une flamme oxydante.

**Fours à réchauffer.** — Les lingots d'acier ou de fer doux fondus sont réchauffés, comme ceux du procédé Bessemer, dans de longs réverbères inclinés ordinaires (*Bochum*), ou dans des Siemens, ou encore dans des fours Bicheroux, à sole horizontale. Dans divers cas, on brûle 12 à 25 0/0 de houille. On forge les lingots au marteau, ou bien on les lamine directement en une seule chaude.

L'acier Martin sert pour rails, essieux et bandages.

Le fer doux fondu, du procédé Martin, est laminé pour tôles fortes de chaudières.

Le chauffage des lingots de fer et d'acier n'exige pas une température aussi élevée que dans l'élaboration du métal obtenu par soudage.

Les fours à réchauffer sont des fours à réverbère dont la sole est horizontale. Le chauffage est tantôt direct, tantôt au gaz. Pour les grands fours, on emploie souvent le système Siemens.

Dans les *fours roulants*, on fait rouler les lingots, en commençant par la partie moins chauffée et en finissant par la partie où la température atteint son maximum. La consommation pour les fours roulants est de 100 à 200 kilogrammes par tonne de lingots introduits froids. La consommation est la même dans les fours à réchauffer du système Siemens. Le déchet est de 2 à 4 0/0 par chaque *chaude* et, par conséquent, inférieur à celui de fours à souder, ce qui s'explique par les deux raisons suivantes : 1° la surface soumise à l'action oxydante est moins grande dans les lingots que dans des paquets; 2° les scories à enlever dans le métal obtenu par soudage.

**Dégrossissage et laminage.** — Si l'on considère le tableau donné précédemment, des productions des principales régions (celles-ci étant définies comme indiqué page 106), on constate la prédominance de l'Est sur le Nord. Mais si l'on restreint ces régions aux seuls départements de Meurthe-et-Moselle, d'une part, c'est-à-dire à des départements possédant hauts fourneaux et aciéries, on s'aperçoit que la région du Nord l'emporte actuellement sur celle de Meurthe-et-Moselle, tant pour les laminés (aciers et fers) que pour l'ensemble du tonnage :

## Production en 1913

	MEURTHE et MOSELLE	NORD et PAS-DE-CALAIS
	tonnes	tonnes
Rails et accessoires en acier.....	224.111	97.975
Aciers marchands.....	192.234	343.205
Fers marchands.....	12.312	172.345
Poutrelles.....	270.963	74.116
Profilés autres que poutrelles.....	109.874	54.208
Tôles et larges plats (fer et acier) . . . .	85.008	230.284
TOTAUX.....	894.502	972.133
Tonnage global de produits ouvrés en fer et acier.....	1.084.981	1.127.448

Les plus puissantes installations de laminage du district se rencontraient à l'*usine de Denain* de la Société des hauts fourneaux, forges et aciéries de Denain et d'Anzin.

Elles comprenaient :

D'une part, un *train blooming* et trois *gros trains finisseurs*, tous réversibles, formant, avec l'aciérie Thomas qui les alimentait de lingots, l'ensemble appelé *aciérie Jordan*. Ces laminoirs faisaient également quelques produits en acier Martin.

D'autre part, un *train réversible à grosses tôles* et un *train Lauth à tôles moyennes* ; ces tôleries, exclusivement alimentées par l'aciérie Martin.

Voici quelques indications sommaires sur le fonctionnement de cet atelier :

LAMINOIRS A BLOOMS, BILLETES, LARGETS, RAILS ET GROS PROFILÉS DE DENAIN. — A leur arrivée de l'aciérie dans des wagons spéciaux, les lingots chauds étaient pris par deux ponts roulants électriques qui les plaçaient dans des *pits*, fours verticaux où la température s'égalise dans toute la masse du lingot. L'installation comprenait quatre massifs chauffés de quatorze cellules et deux massifs non chauffés (pits secs) de dix cellules. Les mêmes ponts roulants reprenaient les lingots après un séjour de quinze à vingt minutes dans les pits, et les déposaient sur une chaise à bascule qui les mettait sur la file de rouleaux (à vapeur) du blooming.

*Blooming*. — Les cylindres du blooming avaient un diamètre de 1.100 millimètres et une longueur de table de 2.750 millimètres ; les tourillons, 690 millimètres de diamètre sur 800 millimètres de longueur ; les pignons, un diamètre de 1.170 millimètres ; le cylindre supérieur

était comme d'usage équilibré hydrauliquement : levée, de 240 millimètres ; le mouvement des vis était également hydraulique et à crémaillère. Ce train était commandé par une machine réversible de 6.000 chevaux, à deux cylindres jumelés de 1<sup>m</sup>.200 de diamètre et 1<sup>m</sup>.300 de course, faisant jusqu'à 120 tours par minute, avec un rapport d'engrenage de 1/2, de sorte que les cylindres du laminoir faisaient jusqu'à 60 tours par minute. Il y avait, de chaque côté de la cage, une table à rouleaux, tous actionnés, dont le plus rapproché de la cage, à plusieurs diamètres épousant la différence profondeur des cannelures.

L'appareil retourneur de lingots, installé sous la table à rouleaux d'avant, était actionné hydrauliquement. Un cylindre horizontal servait au déplacement latéral du chariot pour le ripage des lingots, tandis qu'un second cylindre commandait le mouvement vertical des trois tocs qui retournent le lingot. Un pignon conique, actionnant le retourneur, pouvait se déplacer latéralement sur l'arbre moteur, profilé de façon à pouvoir fonctionner dans chaque position du chariot.

Les rouleaux pour le départ des blooms étaient tous actionnés et entraînaient le bloom jusqu'à la cisaille hydraulique pouvant cisailer, avec une pression de 65 atmosphères, des blooms à chaud jusqu'à 350 millimètres de côté.

Trois machines à vapeur réversibles, d'une puissance de 35 chevaux, commandaient respectivement les trois séries de rouleaux : rouleaux d'avant, rouleaux d'arrière et rouleaux transporteurs à la cisaille.

La capacité de production d'un semblable train à blooms est très considérable ; il peut dégrossir en douze heures 800 tonnes de lingots, d'un poids moyen de 2.700 kilogrammes. Les lingots sont coulés carrés et avec une section habituelle de 550 millimètres de côté à la base : ils sont réduits par le laminage jusqu'à une section variant de 300 × 300 à 240 × 140.

À la sortie de la cisaille, les blooms pouvaient prendre quatre chemins différents : ou bien ils étaient pris par une grue hydraulique qui les déposait sur un wagonnet qu'une petite locomotive emmenait au parc à blooms, ou bien ils se rendaient directement à l'un des trois finisseurs : train à largets, blooms et billettes, train à rails, train à gros profilés.

*Trains finisseurs.* — Ces trois trains étaient placés sur une même ligne, le train à rails à droite, le train à largets, blooms et billettes au centre, le train à gros profilés à gauche. Ils étaient mus par deux machines à vapeur réversibles, à trois cylindres, intercalées entre les trains de telle sorte que chaque machine puisse conduire indifféremment l'un ou l'autre des trains voisins. Le train du milieu pouvait d'ailleurs être divisé entre les deux machines.

Le train à largets, blooms et billettes se trouvait en face du blooming, et les blooms sortant de la cisaille y étaient menés en ligne droite par une file



train à rails, soit au train à gros profilés, les blooms étaient pris par des ripeurs électriques qui les conduisaient jusqu'aux files de rouleaux de ces deux trains. Chaque train était muni de ripeurs électriques; tous ces ripeurs se commandaient d'une galerie supérieure permettant au mécanicien de tout voir.

Les machines actionnant les trains finisseurs étaient trijumelles; les trois cylindres égaux ayant 1<sup>m</sup>,100 de diamètre et 1<sup>m</sup>,200 de course; la puissance développée pouvait atteindre, à la vitesse de 120 tours, jusqu'à 7.000 chevaux.



Le train à gros profilés comprenait, à partir de la machine :

Une cage dégrossisseuse de 850 millimètres à serrage variable (levée de 120 millimètres commandée hydrauliquement);

Une cage à pignons de 850 millimètres;

Trois cages finisseuses de 850 millimètres à serrage fixe.

Tous les cylindres ont 2<sup>m</sup>,250 d'entablement.

Ce train faisait les poutrelles à ailes ordinaires de 200 à 220 millimètres, les poutrelles à larges ailes de 200 à 300 millimètres, les profils normaux de 200 à 400 millimètres et les profils anglais dans les poids équivalents; les  pour bateaux de 200 millimètres, les fers en  de 200 à 300 millimètres; enfin les cornières de 120 à 150 millimètres.

La capacité de production du train par poste de douze heures pouvait atteindre 700 tonnes; ce train laminait les profilés jusqu'à 80 mètres de longueur.

Le train à largets, blooms et billettes comprenait, en allant de la machine de gauche à celle de droite :

Une cage à pignons de 850 millimètres;

Une cage dégrossisseuse de 850 millimètres à serrage variable (levée de 120 millimètres commandée hydrauliquement);

Deux cages finisseuses de 750 millimètres à serrage fixe;

Une cage à pignons de 750 millimètres;

Les cylindres de 850 millimètres avaient 2<sup>m</sup>,50 d'entablement, les cylindres de 750 millimètres avaient 2 mètres d'entablement.

Ce train faisait les blooms de 140 × 140 à 120 × 120, les billettes de 120 × 120 à 50 × 50, les largets et les bidons de 500 millimètres à 200 millimètres de largeur et de 150 millimètres à 10 millimètres d'épaisseur.

La capacité de production par poste de douze heures pouvait atteindre 700 tonnes en billettes. Ce train laminait la billette jusqu'à 120 mètres de longueur, le bidon jusqu'à 100 mètres et les largets jusqu'à 30 mètres.

Le train à rails comprenait, à partir de la machine :

Une cage dégrossisseuse de 850 millimètres à serrage variable (levée de 120 millimètres commandée hydrauliquement);

Une cage

Deux cages finisseuses de 750 millimètres à serrage fixe.

Les cylindres de 850 millimètres avaient 2<sup>m</sup>,250 d'entablement, les cylindres de 750 millimètres avaient 2 mètres d'entablement.

Ce train faisait les rails Vignole, depuis les rails de 25 kilogrammes par mètre courant jusqu'au rail du Nord de 45<sup>k</sup>,425 et au rail de « l'Argentine Great Western Railway » de 50 kilogrammes ainsi que les rails à double champignon dans les poids équivalents; les rails Broca de 36<sup>k</sup>,900 à 52<sup>k</sup>,500 par mètre courant; enfin les ronds de 120 millimètres de diamètre.

La capacité de production par poste de douze heures pouvait atteindre 700 tonnes avec les gros profils; ce train laminait le rail jusqu'à 90 mètres de longueur.

A l'arrière des trains se trouvaient : les scies à chaud, les grilles de refroidissement et le finissage derrière le train à rails; une cisaille hydraulique verticale avec un chargeur mécanique pour les largets, une scie à pendule, une autre cisaille et un autre chargeur mécanique pour les billettes, derrière le train à billettes et largets; une scie à pendule, une grille de refroidissement et des dresseuses derrière le train à poutrellés. Tous ces appareils étaient commandés par des moteurs électriques.

Enfin, toujours à la suite, se trouvaient d'immenses parcs et quais de chargement pour les rails, les billettes, les largets et les profilés. Ces parcs, dans lesquels pénétraient les voies de chemins de fer, permettaient de charger très facilement et très simplement la production des laminoirs.

Une des particularités de l'installation était la disposition du plan *en éventail*, du blooming aux parcs. Elle donnait toutes facilités pour le dégagement des divers produits, qui nécessitent des emplacements de plus en plus considérables au fur et à mesure de leur usinage.

**Affinage par cémentation oxydante.** — **Fonte malléable.** — En soumettant la fonte, après l'avoir chauffée au rouge, à une action oxydante à l'aide d'un *cément* approprié, on arrive à brûler le carbone et on obtient ainsi la fonte malléable. Cette opération s'appelle cémentation oxydante. La fonte blanche est celle qui convient à cette opération.

La teneur en Mn ne doit pas dépasser.....	0,4 0/0
— Si — .....	0,6 à 0,8 0/0
— S — .....	0,20 0/0
— Ph — .....	0,10 0/0

Pour les petites pièces, on emploie des pots en fonte ou en fer qu'on met dans des fours spéciaux. Leurs parois métalliques sont recouvertes, à l'intérieur, d'une couche de lait de chaux. Le cément est composé d'oxydes métalliques capables de céder facilement une partie de leur oxygène. On emploie de préférence le peroxyde de fer sous forme d'hématite rouge, des carbonates grillés ou des hématites brunes.

Pour les grandes pièces, les pots sont remplacés par des caisses en briques.

Ce procédé s'applique aux pièces moulées en fonte, dont on augmente la résistance par la cémentation.

**Acier de cémentation.** — L'acier de cémentation s'obtient en chauffant au rouge le fer entouré de charbon de bois et en maintenant cette température pendant un certain temps; le charbon se trouve ainsi absorbé par le fer. Ce mode de fabrication est certainement le plus compliqué et le plus dispendieux, mais l'acier ainsi obtenu est de très bonne qualité. Il est destiné aux instruments et outils délicats. Généralement, on soumet à la cémentation le fer puddlé des fontes pures. Les barres à cémenter sont placées dans des caisses en briques. Ces caisses sont mises dans les fours qui peuvent contenir généralement deux caisses contenant 8 à 10 tonnes de fer.

La grille de chauffage se trouve placée en dessous. Les flammes circulent par des carneaux et enveloppent les caisses.

Les barres sont plates à section rectangulaire. Le *cément* consiste en charbon de bois dont la grosseur ne dépasse pas celle d'une noix. Après chaque fournée, on renouvelle une partie de charbon, ordinairement 2 parties de neuf sur 1 partie de vieux.

Le fond de la caisse est couvert de sable au-dessus duquel on étend une couche de fraïsil de charbon de bois de 60 à 80 millimètres d'épaisseur et, sur cette dernière, on dispose une rangée de barres de fer. Chaque barre est enveloppée de charbon. Une opération complète exige, suivant la grosseur des caisses, vingt et un à vingt-huit jours. Par tonne d'acier il faut 30 kilogrammes de charbon frais, de 800 à 1.000 kilogrammes de houille.

**Variante.** — Quelquefois on a recours à la cémentation partielle des pièces exécutées en fer pour transformer en acier la couche superficielle.

On entoure ces pièces de charbon de bois en poudre et on les place dans des caisses en tôle où elles sont chauffées pendant quelques heures. On retire les caisses quand elles sont encore rouges et on les trempe dans l'eau. Les surfaces peuvent recevoir après cette opération un beau poli.

Enfin on cimente aussi l'acier doux pour le rendre dur.

Par exemple des arbres de turbines seront en acier doux au nickel type des Acieries de Pompey (M. et M.) pour leur donner de la résistance et de la souplesse et ils seront cimentés et trempés à l'endroit des portées de coussinets pour les rendre résistants à l'usure.

**Procédé Harvey pour durcir les plaques de blindage sans augmenter leur fragilité.** — On met la plaque sur un lit de sable dans un four à réchauffer. On la saupoudre par une couche de charbon de bois, et on recouvre d'une couche de briques réfractaires; on chauffe



plus ou moins longtemps suivant les dimensions de la plaque : on enlève ensuite la plaque, et on l'arrose pendant qu'elle est à la température du rouge cerise

La surface en contact avec le charbon de bois acquiert ainsi une teneur en carbone de 1 0/0, teneur qui va en diminuant vers l'intérieur.

### Nitruration des aciers.

Ce procédé consiste à cémenter superficiellement l'acier par l'azote à une température comprise entre 500 et 525°.

On obtient, si la nature de l'acier est convenable, une couche de fer nitruré de très grande dureté sans qu'il soit nécessaire de faire suivre cette cémentation d'une trempe.

Les pièces à nitrurer sont disposées en vrac, dans des caisses chauffées à la température convenable, dans lesquelles circule un courant gazeux d'ammoniaque qui se décomposera en azote et hydrogène.

Pour obtenir une couche de grande dureté, il est nécessaire de limiter la diffusion de l'azote dans l'acier, ce qui oblige à utiliser des aciers spéciaux contenant l'un ou plusieurs des corps suivants : chrome, silicium, molybdène, aluminium, vanadium.

Avant nitruration on fait subir un traitement thermique, trempe suivie d'un revenu à 520° au moins, au métal pour lui donner des caractéristiques mécaniques intéressantes : on le fait avant usinage : on approche ensuite des cotes définitives à 1 millimètre près, on procède à un recuit de quelques heures à 520° pour détruire les tensions provoquées par l'usinage qui seraient susceptibles d'apporter des déformations pendant la nitruration, on amène la pièce aux dimensions voulues et on fait alors seulement la nitruration.

Il est indispensable d'effectuer cette opération à une température très précise : elle doit durer de quatre à cinq jours si l'on veut obtenir une couche nitrurée de 0,8 millimètre environ.

Léon Guillet a communiqué à l'Académie des Sciences, dans la séance du 23 avril 1928, quelques-uns des résultats remarquables qu'il a obtenus au cours de ses recherches. Il a indiqué notamment qu'un groupe de cylindres de moteur à explosion fait en un acier contenant 0,35 0/0 de carbone, 1,60 de chrome, 1,20 d'aluminium trempé et revenu à 600° pour obtenir R = 60 kilogrammes par millimètre carré, nitruré sur les surfaces en contact avec les pistons, présentait après un parcours de 30.000 kilomètres une usure de 0,02 millimètre, alors qu'un groupe de cylindres en fonte avait une usure de 0,4 millimètre pour le même parcours.

## V. — ÉLECTROMÉTALLURGIE (1)

Indiqué pour la première fois, semble-t-il, en 1853, par Plichon, l'emploi de l'électricité pour le chauffage des fours a mis près de cinquante ans pour passer dans le domaine de la pratique, en métallurgie. En 1879 et 1880, Siemens, d'une part, Clerc, de l'autre, utilisent l'arc électrique pour produire une haute température, l'un dans un creuset, l'autre dans un bloc réfractaire, à peu près fermé. Avec Ferranti apparaissent, en 1885, les fours à induction, tandis que Minet et Héroult donnent aux fours à électrolyse un développement industriel. Moissan, en 1892, montre tout ce qu'on peut tirer du four à arc, mais ce n'est qu'aux environs de l'année 1900 que l'industrie sidérurgique en fait l'application en grand, grâce aux travaux d'ingénieurs français tels que Héroult, Keller, Girod et Chaplet.

### De l'électrométallurgie en général.

L'électricité peut intervenir dans les opérations métallurgiques soit par voie sèche, soit par voie humide.

Le tableau suivant résume ses principales applications actuelles :

ÉLECTROMÉTALLURGIE PAR VOIE SÈCHE		
<i>Par chauffage...</i>	Sans réaction...	Fusion : Aciers, métaux, alliages.
		Fours à recuire, tremper, etc.
	Avec réaction...	Four à bains de sel (trempe).
		Réduction... { Fonte. Alliages ferrométalliques.
<i>Par électrolyse...</i>	Avec réaction...	Métaux : (cuivre, nickel, étain).
		Métaux dits réfractaires.
	Sans réaction...	Affinage .... { Acier. Vieux métaux.
		Aluminium.
Magnésium.		
Sodium.		
Calcium.		

(1) Les données de ce chapitre sont, en grande partie, tirées du traité de M. Léon Guillet, *Métallurgie générale*, J.-B. Baillière, éditeur, Paris.

## ÉLECTROMÉTALLURGIE PAR VOIE HUMIDE (ÉLECTROLYSE)

<i>Avec anodes insolubles</i> .....	{ Récupération de l'étain (fer-blanc). Métallurgie de l'or et de l'argent (cyanuration).
<i>Avec anodes solubles</i> .....	{ Fabrication du fer pur. Affinage du cuivre, du zinc, du plomb, du nickel. Affinage de l'argent et de l'or.

Le chauffage électrique des fours métallurgiques s'effectue suivant trois modes différents :

1° Par effet Joule, obtenu par passage du courant dans une résistance ;

2° Par induction, le métal à traiter étant disposé dans le circuit secondaire d'une bobine d'induction ;

3° Par arc, jaillissant entre deux ou plusieurs électrodes.

Cela nous amène à classer les fours d'électrothermie en trois grands groupes :

1° Les fours à résistance ;

2° Les fours à induction ;

3° Les fours à arc.

Avant de passer à la description des fours types de ces divers groupes, nous devons résumer les grands avantages qu'ils offrent pour les réactions chimiques :

1° Production de calories à prix de revient relativement bas, quand on dispose de chutes d'eau ou de gaz résiduels tels que gaz de hauts fourneaux ou de fours à coke ;

2° Emploi d'appareils de construction simple, peu coûteuse, et de capacité variant entre de larges limites : 300 kilogrammes à 30 et 40 tonnes ;

3° Obtention de très hautes températures, autrement irréalisables dans des chambres aussi grandes ; par suite, possibilité de réactions qui n'ont pas lieu à des températures inférieures et accélération des vitesses d'échange ;

4° Possibilité d'organisation des usines métallurgiques en pays de montagne, loin des centres d'approvisionnement en combustible et sur les lieux mêmes d'extraction du minerai ;

5° Contrôle précis des températures.

Si nous passons en revue les applications de l'électrothermie, nous constatons, à l'heure actuelle, de très rapides progrès en diverses directions.

Les opérations de simple fusion sans réaction se sont grandement développées en ces derniers temps, aux États-Unis, pour les métaux autres que le fer et leurs alliages. En Europe, on pratique au four électrique la fusion de l'aluminium et l'on met au point, en nombre d'usines françaises, pour laiton ; l'un



de ces appareils a fonctionné pendant toute la guerre, à Saint-Béron. Si la consommation de courant est assez élevée — 450 kilowatts par tonne de bronze ordinaire — les avantages de ces fours n'en sont pas moins appréciables comparés aux fours à creuset : déchets moindres — 4 à 5 0/0 au maximum dans certains appareils à mouve-

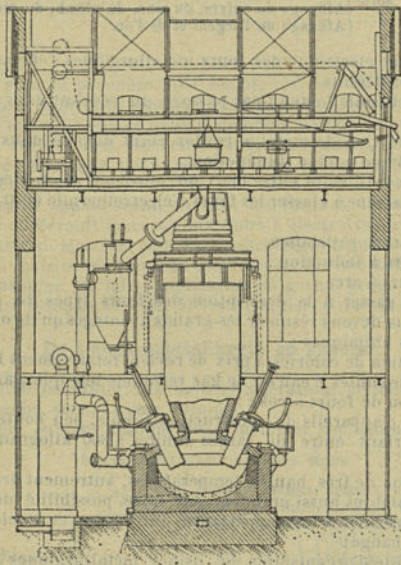


FIG. 10. — Haut fourneau électrique de Trollhatan.

ment continu d'oscillation — entretien minime. En Scandinavie, on prépare aujourd'hui par fusion électrique du zinc relativement pur en partant de déchets de vieux métal; la seule précaution nécessaire est l'addition d'un peu de carbone pour empêcher l'oxydation.

Parmi les principales opérations de réduction, il convient de citer la fabrication de la fonte au haut fourneau électrique, pratiquée à Trollhatan. L'IRIS LILLIAD Université Lille 1 et un creuset. La

cuve surmonte la voûte du creuset, au centre de laquelle elle débouche. Cette voûte laisse passer les électrodes entre lesquelles jaillit l'arc. C'est dans le creuset que s'effectuent les opérations de réduction. Une partie des gaz du gueulard est soufflée dans le creuset pour en refroidir la voûte; les gaz chauds s'échappent à travers la charge de la cuve, soumise à l'action réductrice de l'oxyde de carbone. La consommation d'énergie, évidemment variable suivant le minerai traité, est d'environ 2.400 kilowatts pour minerai à 60 0/0 de fer. La dépense en charbon de bois, employé comme réducteur, est de 25 hectolitres à la tonne de fonte.

Nous parlerons plus loin de l'importante industrie électrométallurgique des ferro-alliages. Pour ce qui est des petits métaux — cuivre, nickel, étain, zinc même, — dont on a tenté la fabrication au four électrique, nous renvoyons le lecteur au chapitre VII, où l'on trouvera également des indications sur la préparation de l'aluminium par électrolyse ignée.

La principale opération industrielle d'affinage au four électrique est celle de l'acier (voir plus loin). Les températures élevées qui règnent dans ce four favorisent certaines réactions et procurent un affinage plus parfait; de là la possibilité d'utiliser des matières premières de moindre qualité. Les aciers électriques sont, en général, un peu supérieurs aux métaux de même composition chimique provenant d'autres appareils métallurgiques, voire du creuset. La haute température active la dissolution des additions les moins fusibles — tungstène, vanadium — et l'homogénéisation du bain. Citons encore, comme avantages du four électrique à acier :

La faculté de préparer avec une très grande précision des alliages à teneur en carbone variant entre les limites extrêmes, soit de moins de 0,05 à 4 0/0;

La possibilité d'y charger des déchets très divisés, spécialement des tournures, sans briquetage;

La disposition presque toujours oscillante du four, qui facilite l'évacuation des scories comme l'introduction de matières fraîches.

### Principaux types de fours électriques.

1° **Fours à résistance.** — a) Indépendante du métal; b) Constituée par le métal.

La résistance indépendante du métal peut être, soit extérieure au four, soit intérieure. Les premiers ne sont que des moufles ou tubes employés exclusivement dans les laboratoires; au second dispositif appartiennent des appareils métallurgiques de traitement thermique et de fusion d'alliages et métaux, dont le plus répandu est le *four Bailey* (fig. 11).

Ce four est formé d'une cavité cylindrique et d'une voûte ; la sole en cuvette se termine par un bec de coulée. La résistance, disposée à mi-hauteur du four, est un anneau de Kryptol qui chauffe la voûte

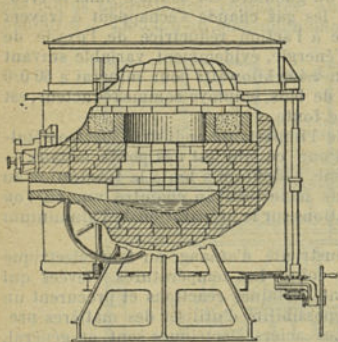


FIG. 11. — Four Bailey montrant la disposition de la résistance annulaire.

par rayonnement ; ces résistances font généralement un service de quatre mois. L'appareil, monté dans une enveloppe métallique, est basculant. Le modèle le plus courant a une capacité de 750 kilogrammes et absorbe 105 kilowatts. Il existe, plus spécialement pour la fusion du zinc, des fours de 1.000 kilowatts produisant 100 tonnes par jour. La consommation d'un four de fusion du bronze varie, suivant dimensions, entre 300 et 400 kilowatts-heure par tonne.

Il est encore peu d'exemples de fours où la résistance est constituée par le récipient même. Citons cependant celui de la Morgan Crucible Co, de Londres, dont le creuset en graphite et terre réfractaire a la forme d'une cuvette avec trois appendices à 180° d'écartement, joints au circuit par des bornes. Sous le creuset se trouve une garniture réfractaire de bauxite, zircon ou carborundum, noyée dans une masse réfractaire qui remplit le reste de l'enveloppe métallique. Celle-ci bascule sur des rouleaux.

Le prototype des fours à résistance est celui de Gin, où le métal, contenu dans un long canal, replié sur lui-même afin de ne pas trop allonger le four, constituait la résistance. Il n'est plus aujourd'hui de type aussi simple utilisant le bain comme résistance, mais ce dispositif se retrouve dans des fours à induction.

2° Fours à induction et fours à induction et résistance. — Dérivent tous du type Ferranti : anneau formant canal, contenant le métal et soumis à un courant induit. Le prototype de cette classe de fours industriels est le four Kjellin (fig. 12). Le canal est creusé dans un bloc réfractaire et recouvert par des dalles réfractaires mobiles. Au centre du bloc est un puits dans lequel est logé le noyau de fer quadrangulaire enveloppé de la bobine du primaire. Le bain forme un secondaire à spire unique en court-circuit de résistance variable avec le métal et la température.



Le transformateur que constitue le four à induction est un appareil de rendement notablement affaibli par deux causes : l'effet de pincement et le facteur de faible puissance.

L'effet de pincement résulte de la contraction de la veine de métal en fusion quand elle est parcourue par un courant de grande intensité ; la contraction pouvant aller jusqu'à la rupture de la veine, pour des métaux de faible résistivité. Ce défaut ne se manifeste que dans les fours à chenal ouvert, dont le secondaire est disposé dans un plan horizontal.

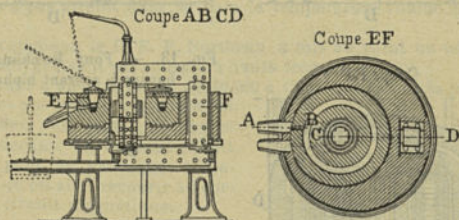


Fig. 12. — Four Kjellin.

Le facteur de faible puissance résulte de l'obligation d'interposer des matériaux réfractaires entre le primaire et le secondaire afin d'assurer l'isolement calorifique du premier.

Ces défauts et d'autres inconvénients ont été combattus de diverses manières. Roechling et Rodenhauser ont combiné les principes du four à induction et du four à résistance de la manière suivante :

Deux ou trois fours Kjellin, suivant que le réseau primaire est bi ou triphasé, sont accolés ; dans le premier cas (fig. 13), la section en plan du canal est celle d'un 8 dans la boucle duquel est une bobine primaire. Dans le second cas, la section horizontale est celle indiquée figure 14. Au centre du four, les canaux R se réunissent dans une chambre de travail dans la paroi de laquelle sont noyées des plaques métalliques. Des bobines secondaires à une seule spire sont enroulées sur les bobines primaires et communiquent avec ces plaques par lesquelles elles transmettent le courant au bain. Ces bobines diminuent les fuites magnétiques déjà rendues plus faibles par la réduction de section des canaux R.

Frick a essayé de réduire la self induction du four, en disposant le primaire au-dessus et au-dessous du chenal secondaire.

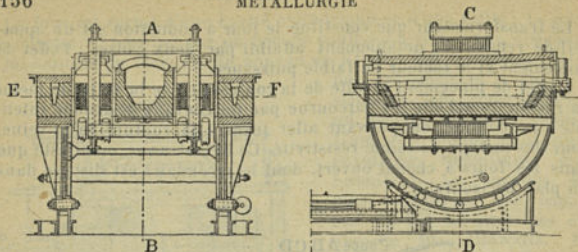


FIG. 13. — Four Röchling-Rodenhäuser à courant biphasé.

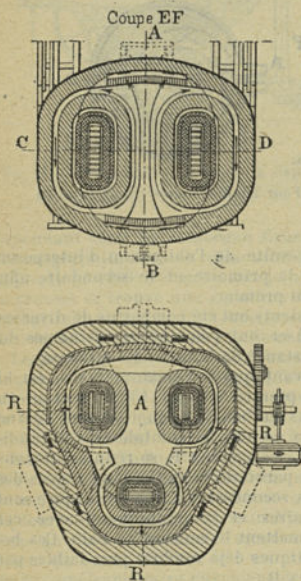


FIG. 14. — Four Röchling-Rodenhäuser à courant triphasé.

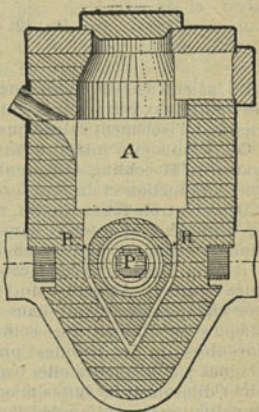


FIG. 15. — Schéma du four Ajax-Wyatt.

Quant à l'effet de pincement, il semble avoir été éliminé avec succès dans le four Ajax-Wyatt (fig. 15).

Dans ce four, le chenal R de forme triangulaire est disposé dans un plan vertical au-dessous du bain. La bobine primaire P est sensiblement concentrique au chenal et très rapprochée de celui-ci, réalisant les meilleures conditions pour obtenir un bon facteur de puissance. La circulation dans le chenal, provoquée principalement par l'effet moteur et accessoirement par l'effet de pincement et l'effet Joule, est très active et permet notamment d'appliquer ce four à la fusion du laiton 60/40 sans aucune volatilisation de zinc, tant que le métal n'a pas atteint dans le bain la température voulue pour la coulée.

Plus récemment, le D<sup>r</sup> E. F. Northrup a mis au point un nouveau type de four utilisant un courant à haute fréquence.

Un courant d'une fréquence de 10.000 à 12.000 périodes à la seconde parcourant une bobine entourant un creuset plein de métal développe dans ce dernier un courant induit suffisant pour en provoquer la fusion sans qu'on ait à recourir à l'emploi d'un circuit magnétique.

Jusqu'à présent la production de tels courants n'étant économique qu'au moyen de décharges oscillantes, on a dû limiter la puissance d'un tel four à 20 kilowatts. La figure 16 donne le schéma de l'équipement du four Northrup. Un transformateur élève à 8.000 volts la force électromotrice du courant fourni par une distribution à 220 volts 60 périodes. Le courant ainsi produit, transformé en courant à haute fréquence par l'intermédiaire de la batterie de condensateurs C et de l'éclateur à mercure g, parcourt la bobine entourant le four F. Le facteur de puissance est d'environ 70 0/0 et le rendement global du four de l'ordre de 40 0/0.

On prévoit que l'on parviendra dans un avenir peu éloigné à mettre au point des générateurs à haute fréquence mus mécaniquement et permettant de fournir économiquement des puissances de 100 à 200 kilowatts. Les appareils de cette nature actuellement en usage pour la T. S. F. sont extrêmement coûteux, ce qui ne peut permettre d'en envisager l'emploi pour la chauffage.

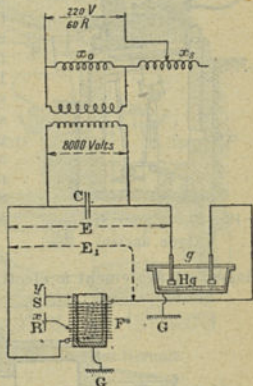


Fig. 16. — Schéma de l'équipement du four Northrup.



Plusieurs de ces fours sont en service et servent à la fusion de l'argent ou du platine.

3° **Fours à arc, ou à électrodes.** — a) Courant ne passant pas dans le bain (Stassano);

b) Courant passant dans le bain :

1° Sole non conductrice (Héroult, Keller) :

2° Sole conductrice.

a) Entièrement (Firminy, Keller);

b) Partiellement (Girod, Chaplet).

Le four à électrodes hors du bain dérive du type conçu d'abord par

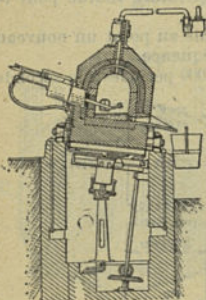


FIG. 17. — Four Stassano (type ancien).

Clerc, puis employé par Moissan-Stassano en a créé le premier modèle industriel (fig. 17). C'est une cuve cylindrique surmontée d'une voûte en dôme, l'ensemble pivotant sur un axe légèrement incliné sur la verticale. Les électrodes sont disposées à une assez grande hauteur au-dessus du bain et le chauffage s'effectue surtout par rayonnement. Les fours les plus modernes fonctionnent sur courant triphasé. Quelques-uns présentent deux électrodes horizontales et une troisième verticale, ce qui donne un arc en fleur de lys; forme particulièrement favorable au chauffage. Le four Stassano a été surtout employé jusqu'ici à la fusion de l'acier pour moulages.

Le four *Detroit*, employé avec succès aux États-Unis pour la fusion des alliages, est également à électrodes hors du bain; c'est un cylindre à

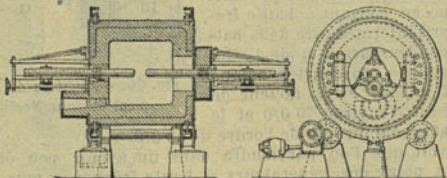


FIG. 18. — Four oscillant Detroit.

axe horizontal, monté sur galets et qui, par crémaillères circulaires,

reçoit un mouvement de balancement autour de son axe pour aider au brassage (fig. 18).

Le four de cette catégorie le plus répandu en aciérie, depuis quelques années, est le type Rennerfelt. Celui-ci fait usage de courant biphasé obtenu par courant triphasé à montage Scott, (fig. 19),

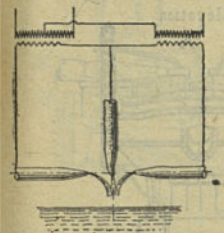


FIG. 19. — Schéma des connexions du four oscillant Rennerfelt.

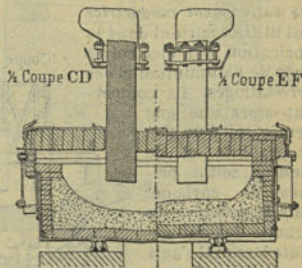
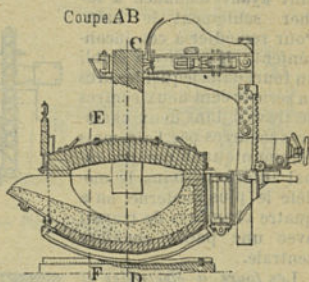


FIG. 20. — Four Héroult.

L'électrode verticale reçoit le courant de deux phases, les électrodes horizontales sont reliées aux pôles opposés des deux mêmes phases et l'arc obtenu affecte la forme en fleur de lys mentionnée plus haut et se trouve rejeté vers le bas, disposition qui protège la voûte de l'action directe de l'arc.

Ce four se fait à bascule et sert aussi à la fusion d'alliages tels que cupro-nickel, argent et bronze de monnaie, aux États Unis.

Les Fours à électrodes dans lesquels le courant ne passe pas dans le bain peuvent avoir une sole non conductrice ou conductrice.

Le four Héroult est certainement le plus répandu de la première catégorie; il a fait ses débuts en France aux usines de La Praz (Savoie). Le courant pénètre par l'une des deux électrodes verticales disposées au-dessus du bain; un arc jaillit entre cette électrode et la surface du bain ou, plus exactement, de la scorie qui la recouvre; un autre arc se forme entre cette même surface et la seconde électrode.

des fours à grande capacité fonctionnent en triphasé avec trois électrodes verticales. Le four est immobile pendant l'opération, mais sa disposition sur berceau (*fig. 20*) permet de couler les scories et le métal par un bec. Le chargement s'opère par des portes latérales.

On a reproché aux fours Héroult de chauffer inégalement, le courant ayant tendance à lécher seulement le bain. Pour remédier à cet inconvénient, *M. Keller* a établi un four, dans lequel les arcs en série créent deux centres de travail dans deux chambres séparées par l'air, mais communiquant par un canal inférieur. Dans le modèle le plus moderne, on a quatre chambres de travail avec une petite chambre centrale.

Les fours à électrodes et sole entièrement conductrice sont utilisés surtout dans la fabrication par électrolyse ignée de l'aluminium et des ferro-alliages. Ils comportent alors une sole formée, soit d'un pisé de graphite et de goudron, soit de briques de carbone. Mais la présence du carbone devient gênante lorsqu'il s'agit de produire des alliages peu carburés. La magnésie ne devient conductrice qu'à température élevée; pour qu'elle le soit à la température ordinaire, il

faut, soit y incorporer une proportion assez forte de graphite, soit, comme l'a fait *M. Keller*, y noyer des barres de fer. On prépare aujourd'hui des soles hétérogènes à conductibilité croissante de la zone avoisinant le bain vers la base; ce résultat qui procure des soles

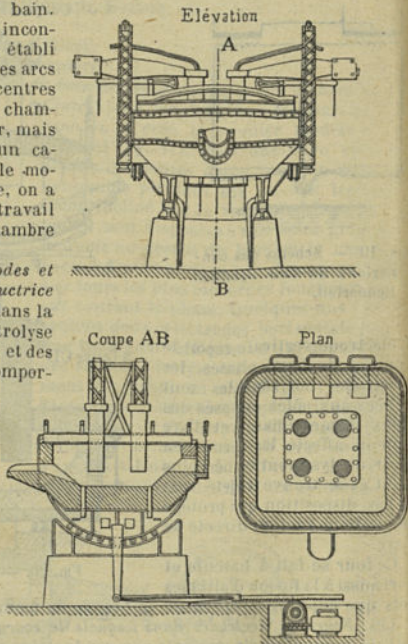


FIG. 21. — Four Girod.



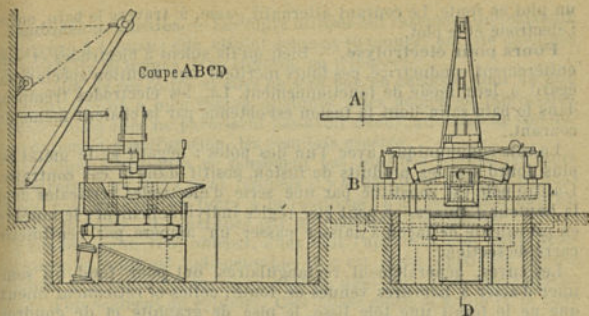


FIG. 22. — Four Chaplet.

chauffantes est obtenu par mélange en proportions variables de magnésie et de matières conductrices telles que graphite et tournures d'acier.

Les fours à sole partiellement conductrice sont représentés par deux types français connus : le four Girod et le four Chaplet.

Dans le four Girod (fig. 21), les masses polaires sont des pièces creuses en acier, refroidies par circulation d'eau et disposées en nombre suffisant pour bien répartir le courant.

Dans le four Chaplet (fig. 22 et 23), la cuve se prolonge par un couloir qui se relève verticalement. Ce couloir renferme des largets en fer, noyés dans la sole et rejoignant, dans la partie verticale,

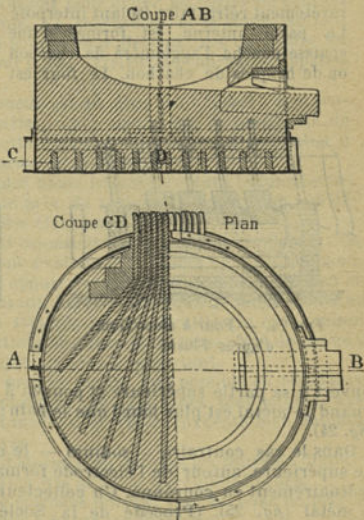


FIG. 23. — Four Chaplet.

un plot en fonte. Le courant alternatif passe, à travers le bain, entre l'électrode et le plot.

**Fours pour électrolyse.** — Bien qu'ils soient à électrodes et sole entièrement conductrice, ces fours méritent une mention spéciale, eu égard à leur mode de fonctionnement. Là, les électrodes trempent dans le bain salin dont la fusion est obtenue par la chaleur même du courant.

La sole communique avec l'un des pôles : négatif si le métal est plus lourd que les produits de fusion, positif dans le cas contraire. L'autre pôle est constitué par une série d'électrodes verticales dont la hauteur d'immersion peut être réglée individuellement ; le nombre en est calculé de façon à laisser passer un ampère par centimètre carré de section.

Les cuves, généralement rectangulaires, ont pour fond un sommier d'acier à nervures venues de fonte ; celles-ci retiennent mieux que ne le ferait une tôle lisse, le pisé de graphite et de goudron qu'on y coule et qu'on recouvre ordinairement de briques de carbone. Ce sommier est surmonté d'un caisson en tôle à double paroi avec revêtement réfractaire isolant interposé. La paroi interne est formée d'une épaisse couche d'aggloméré de charbon ou de briques de charbon. Le four est

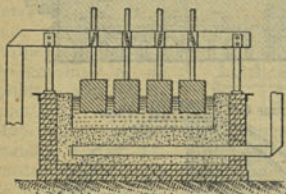


FIG. 24. — Four à aluminium d'après Flusin.

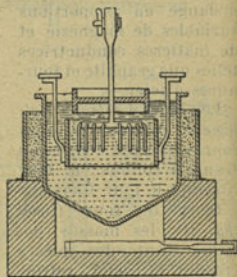


FIG. 25. Four à sodium.

ouvert à sa partie supérieure et pourvu à sa base d'un trou de coulée quand le métal est plus lourd que le bain ; c'est le cas de l'aluminium (fig. 24).

Dans le cas contraire — sodium — le métal se rassemble à la partie supérieure, autour de l'électrode formant pôle négatif et disposée ordinairement en couronne. Un collecteur situé en ce point recueille le métal (fig. 25). (Procédé de la Société d'Électro-Chimie et de M. Hulin pour le sodium).

**Données générales.** — Les fours utilisés ont rarement une capacité inférieure à 1 tonne ; elle atteint souvent 10 tonnes ; on cite quelques exemples de 30 tonnes (type Héroult, en triphasé).

Les soles de ces fours, si elles ne sont pas en carbone, sont en pisé dolomitique ; on a bien essayé quelques soles acides en fabrication d'acier ; mais elles ne paraissent pas avoir donné, au point de vue désoxydation et désulfuration, les résultats espérés.

Les fours électriques ne possèdent pas tous des voûtes ; les fours d'électrolyse, les fours dans lesquels il y a une forte hauteur de matières, comme dans les fours à ferro-alliage, n'en possèdent pas. En réalité, la voûte est constituée par les matières elles-mêmes.

Mais, lorsqu'on veut obtenir, dans tout l'appareil, une haute température, la voûte est indispensable. Elle est alors constituée par des briques, généralement en silice, placées dans une armature ayant la forme d'un segment de cylindre. Ceci laisse entre la voûte et la cuve l'espace naturel pour les pertes. Toute la voûte peut aisément être soulevée et changée. L'électrode ou les électrodes traversent la voûte et il faut prendre des précautions pour éviter les pertes de courant et l'échauffement de la voûte. Le chargement et la coulée se font toujours comme il a été dit pour le four Héroult ; bec de coulée en avant du four, chargement sur le côté, arrivée du courant et appareil de basculement à l'arrière.

Cette question du basculement est du plus haut intérêt, non seulement pour la coulée du métal, mais aussi pour la possibilité de faire agir sur le métal un certain nombre de laitiers, ce qui oblige à des changements assez fréquents de matières.

Deux facteurs sont de la plus haute importance dans le fonctionnement du four électrique et le prix de revient de l'opération : la dépense de courant et l'usure des électrodes.

La dépense de courant est essentiellement fonction de l'opération. De très nombreux fours sont évidemment placés en pays de montagne. Cependant quelques appareils fonctionnent déjà — surtout en superaffinage — avec le courant donné par les gaz de fours à coke ou de haut fourneau, voire de stations centrales utilisant des combustibles bon marché ou peu utilisables loin de la mine. Nul doute qu'il y ait là pour le four électrique un avenir important.

Enfin on notera que l'on marche autant que possible en résistance, lorsque les matières qui entourent les électrodes sont solides ; avec un bain liquide, on ne peut marcher qu'en arc (excepté bien entendu, lorsqu'on produit l'électrolyse).

Dans un grand nombre d'ateliers on dispose les fours en ligne : il en est ainsi pour la fabrication des alliages ferro-métalliques.

**Les électrodes.** — Les électrodes doivent être en coke de pétrole, aggloméré au goudron et cuit à haute température.

Le coke de pétrole est, avant tout, soumis à une cuisson vers 850°



à 900°, de façon à lui enlever les matières volatiles qu'il contient. D'ailleurs ce sont ces matières volatiles elles-mêmes qui chauffent le four. La matière est ensuite broyée, mélangée avec le brai, généralement en proportion de 30 0/0. Puis le mélange, bien trituré dans les broyeurs-mélangeurs à meules, est comprimé à la presse sous une pression d'environ 400 à 450 kilogrammes par centimètre carré. Après cette compression, le produit est filé à la presse et enfin cuit à 1.100°.

Cette cuisson a lieu en fours à nombreuses cellules chauffées par gaz de gazogène, la seule récupération faite l'étant par le passage des gaz dans les cellules en refroidissement.

On essaie la cuisson électrique, le courant passant à même dans les électrodes placées les unes contre les autres; mais il y a de nombreuses difficultés à vaincre, provenant de mauvais contact et de variation de la résistivité au cours même de la cuisson.

En Norvège, on utilise le procédé Söderberg de fabrication et d'utilisation continues sur le même four. L'électrode est surmontée d'un coffrage qui la prolonge verticalement. Dans ce coffrage on pilonne à chaud la matière qui doit constituer le prolongement de l'électrode; en un mot, au fur et à mesure que l'électrode s'use, on charge dans le coffre une nouvelle quantité de matière qui se cuit automatiquement dans sa descente.

On rend donc l'opération continue et on évite les arrêts pour remplacement d'électrodes. Bien entendu, le coffre doit suivre l'électrode dans ses mouvements verticaux de réglage; le tout est suspendu à un plancher supérieur, par l'intermédiaire de câbles et de courroies qui permettent aisément la descente de l'ensemble.

Depuis quelques années, les électrodes en coke de pétrole sont à peu près réservées à l'électrolyse de l'aluminium.

En aciérie, on utilise des électrodes contenant des quantités souvent dominantes d'antracite, et de plus, les électrodes graphitées par la méthode d'Acheson (passage d'un courant de 30 à 40 ampères par centimètre carré dans les électrodes en antracite ainsi portées vers 2.000°, en présence d'oxydes nécessaires à la transformation; on utilise généralement une pâte contenant 2 à 3 0/0 d'alumine; le voltage utilisé est ordinairement de 100 volts.

Ces électrodes présentent sur celles ordinaires les avantages suivants :

Résistivité quatre fois moindre, oxydation plus faible jusqu'à 800°, meilleure résistance aux chocs, conductibilité thermique meilleure, donc moindre bris par changement de température. En pratique, on peut utiliser des électrodes en graphite ayant comme section le quart de celle des électrodes ordinaires.

## Fabrication de l'acier au four électrique.

Dans la *Revue Universelle des Mines*, a paru en 1920 une étude très documentée de M. H. Verdinne. Elle traite amplement la question d'utilisation du four à arc dans l'aciérie et nous en donnerons ici le résumé d'après la *Revue de Métallurgie* (XVIII bis, p. 506, 1924) :

Le prix de revient trop élevé du kilowatt-heure a rendu longtemps irréalisable, dans la métallurgie du fer, l'idée préconisée par Siemens, dès 1880, d'utiliser le courant électrique pour la fusion des métaux,

C'est seulement il y a une vingtaine d'années que le développement des aciers spéciaux a permis au four électrique de prendre naissance.

En moins de cinq ans, nous voyons alors se créer coup sur coup des types de fours dont sont dérivés les fours actuels : Stassano (1889), Héroult (1901), Kjellin (1900), Grönwald et Girod (1904). Ces fours se sont développés dans les régions disposant d'énergie hydro-électrique et dans les grandes usines métallurgiques.

La guerre ayant fait passer au second plan la question du prix de revient, a donné à cette industrie un essor considérable. Elle fabrique actuellement toutes espèces d'aciers, acier courant et aciers spéciaux de toute nature.

### I. — L'APPAREIL

Le courant peut être utilisé de deux façons pour le chauffage : par effet Joule et par l'arc voltaïque. Nous ne dirons rien du premier procédé, qui s'est développé principalement en Allemagne et est peu connu dans les pays alliés.

Tous les fours à arc sont constitués par une caisse en tôle généralement cylindrique, munie d'un dispositif de basculage, garnie intérieurement d'un revêtement réfractaire et munie des ouvertures nécessaires pour la coulée et le chargement. Une voûte mobile, constituée par un cadre métallique dans lequel s'enchâssent des briques de silice, ferme le four à sa partie supérieure. Les électrodes, faites de carbone amorphe ou de graphite, sont généralement verticales et pénètrent par des potences que de petits moteurs à courant continu peuvent déplacer le long de mâts verticaux.

En raison des puissances mises en jeu, le courant employé est généralement du courant alternatif, amené à la tension voulue au moyen de transformateurs.

Un calcul très simple va nous permettre d'évaluer l'ordre de grandeur de la puissance consommée dans un tel four :

L'équivalent du kilowatt-heure est de 860 calories.

Une tonne d'acier liquide à 1.350° contenant 300.000 calories, si nous imposons une température de 250° au-dessus du point de fusion pour pouvoir couler, il faudra fournir à la charge (chaleur spécifique de l'acier, 0,15) :

$$300.000 + 1.000 \times 250 \times 0,15 = 337.500 \text{ calories.}$$

et, en supposant un rendement du four de 60 0/0 : 562.500 calories ou 654 kilowatt-heure.

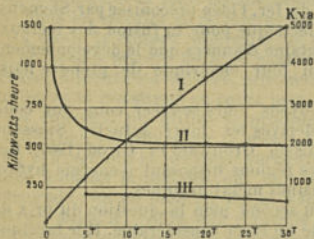


FIG. 26. — Fours « Electro-Metals ».

I, courbes de puissance installée ; — II, consommation par tonne liquide dans le cas de fusion et affinage de scraps froids ; — III, consommation par tonne liquide dans le cas de l'affinage des charges liquides.

de 900 à 1.500, puis à 1.800 et même à 2.000 kilovolt-ampères.

En ce qui concerne le choix du voltage et de l'ampérage secondaires, on remarquera que, plus le voltage est élevé, plus l'arc est long, alors que l'ampérage règle la section de l'arc.

Les fours recherchant une grande vitesse de fusion (Snyder, Webb) emploient un arc long et mince ; ceux qui pratiquent l'affinage ont recours à un arc court et large effacé derrière de grosses électrodes, et ont tous un voltage secondaire ne dépassant pas 100 volts et ne descendant pas en dessous de 50 volts, pour maintenir la pointe des électrodes en dehors du laitier.

Les dimensions du four doivent être telles que l'on puisse y introduire la charge en une seule fois, et surtout qu'il soit possible, avec le nombre de calories produites, de parvenir à la température voulue, tout en assurant une longévité suffisante au revêtement. La puissance installée sur les fours actuels varie de 185 à 300 kilowatt-heures par mètre cube. IRIS LILLIAD Université Lille 1

Si nous supposons que la fusion s'effectue en deux heures, la puissance consommée sera de  $\frac{654}{2} = 327$  kilowatt-heures.

Nous reproduisons (fig. 26 et 27) les courbes données par certaines firmes, et qui montrent l'accroissement de la puissance installée avec la capacité du four. On y voit que, plus le four est grand, plus petite est la puissance à installer par tonne.

On a cependant tendance à augmenter la puissance installée pour une même capacité. C'est ainsi que, pour le four de 6 tonnes, on est passé



exister un certain rapport entre la quantité du métal à affiner en tonnes par heure et la surface de contact entre le bain et le laitier. Le chiffre adopté au four Martin est de 1<sup>m</sup>2,8 par tonne de métal.

Le rendement thermique du four dépend des pertes par conductibilité, qui peuvent s'évaluer à 29 0/0 environ, des pertes par échappement des gaz chauds autour des électrodes, pertes que l'on réduit dans de fortes proportions par l'emploi d'économiseurs, et enfin des pertes par les électrodes.

**Électrodes.** — Ainsi que nous l'avons dit, les électrodes sont, soit en carbone amorphe, soit en graphite. Les électrodes en graphite sont cinq fois plus conductrices de l'électricité, deux fois plus conductrices de la chaleur et coûtent trois fois plus cher. Elles sont tournées au lieu d'être moulées comme les électrodes en carbone, ce qui assure de meilleurs joints, et résistent mieux à la combustion dans le cas d'une atmosphère oxydante. Elles sont, en outre, moins fragiles que les électrodes en carbone, qui ont, d'autre part, l'avantage, en raison de leur grand diamètre, de mieux protéger la voûte contre les radiations de l'arc.

Les dimensions à donner aux électrodes doivent tenir compte à la fois de la perte par effet Joule et de celle par conductibilité calorifique du carbone. Le professeur Carl Hering a montré que la somme de ces deux pertes était minimale lorsque la première était le double de la seconde, ce qui conduit à la relation suivante entre la section et la longueur de l'électrode :

$$0,345 \cdot l \sqrt{\frac{\rho}{KT}}$$

$l$ , courant traversant l'électrode en ampères ;

$\rho$ , résistivité de l'électrode à la température donnée ;

$T$ , différence de température entre l'extrémité froide et l'extrémité chaude

$K$ , conductibilité thermique moyenne en gramme-calorie-secondes, par centimètres cube et par degré de température.

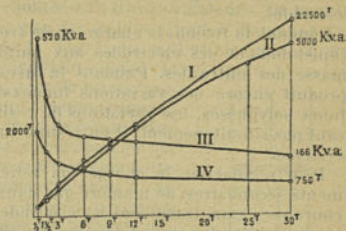


FIG. 27. — Four Greaves-Etchells.

Courbes de la production annuelle I et de la puissance installée II en fonction de la capacité. La puissance à installer par tonne diminue avec la capacité du four III, tandis que la production annuelle par tonne installée IV diminue avec l'accroissement de la capacité.

**Appareillage électrique.** — Il reste à réaliser un facteur de puissance devant atteindre et conserver une valeur moyenne satisfaisante: La charge, d'autre part, ne doit varier qu'entre des limites tolérables.

Pendant la fusion, la charge varie très fortement, les arcs sautent constamment des électrodés aux points les plus rapprochés de la masse des mitrailles. Pendant la fusion, le bouillonnement intense produit encore des variations importantes de la charge. Dans les fours polyphasés, les variations de résistance des arcs ne se produisant pas simultanément, il en résulte un déséquilibre des phases du système.

Pour régulariser la charge, on relie les électrodes aux enroulements secondaires, de manière que dans des conditions normales, des courants égaux traversent les électrodes. On s'efforce alors de maintenir l'égalité de courant dans les cas extrêmes. Pour cela, on constitue des circuits de résistances égales, indépendants ou ayant un retour commun et dans lesquels un arc est la seule résistance variable à régler. Comme les voltages secondaires doivent être égaux pour avoir des résistances égales, il s'ensuit que lorsque l'équilibre n'est pas rompu, des courants égaux traversent les électrodes. Cette opération se fait à l'aide des moteurs à courant continu qui assurent les déplacements verticaux des électrodes et qui sont mis en marche automatiquement ou à la main.



Fig. 28.

Primaire en triangle.  
Secondaire  
en triangle (Héroult).

On protège, en outre, les transformateurs et le réseau primaire en limitant la quantité de courant qui peut passer en cas de court-circuit, soit en augmentant la réactance des transformateurs, soit en introduisant la résistance de la sole dans les circuits.

Nous donnons (fig. 28 à 32) quelques schémas de montage de fours avec courant triphasé.

Le facteur de puissance du circuit secondaire est la résultante des facteurs de puissance des différentes parties du circuit parmi lesquelles l'arc est certainement la plus intéressante.

Le Dr Chapman a trouvé que le facteur de puissance de l'arc



Fig. 29.

Primaire en étoile.  
Secondaire  
en étoile avec fil  
d'équilibre sur la  
sole.

était de 0,8. La réactance du reste du circuit dépend de plusieurs

causés : il y a en premier lieu la réactance additionnelle ajoutée aux transformateurs. La boucle constituée par les câbles souples d'aménée du courant à la barre du collier de contact de chaque électrode, l'arc, la sole, les câbles de retour présentent une réactance importante. La chute de tension due à la force électromotrice de self est considérable par suite de la grande valeur de  $I$ , de la grande vitesse de variation de la charge, de la faible valeur du voltage secondaire et du voisinage de corps magnétiques.

En marche, l'impédance totale varie continuellement. De plus, à mesure que les électrodes descendent dans la masse, le courant développe dans celle-ci des courants de Foucault qui disparaissent

quand le fer liquide perd son magnétisme.

Tout ceci a pour résultat que le facteur de puissance a pour valeur au début de la fusion 0,80 à 0,85, puis qu'il s'élève peu à peu pour atteindre 0,95 ou plus pendant la période d'affinage.

**Transformateurs.** — Les transformateurs utilisés sont beaucoup plus robustes que ceux qui servent à la force motrice ou à l'éclairage.

Ils ont leur densité de courant limitée à 200 ampères par centimètre carré, l'induction dans le fer à 2.000 unités C. G. S. et l'élévation de température à pleine charge à 45°. Toutes les bobines sont attachées de tous les côtés, les conducteurs secondaires sont recouverts d'un isolant rigide extrêmement résistant.

Il convient de noter enfin qu'un dispositif permet de varier au cours



FIG. 30.

Primaire en étoile  
à branches inégales.  
Secondaires  
en triangles à côtés  
inégaux  
(Greaves-Elchells).

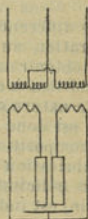


FIG. 31.

Transformateur  
Scott de triphasé en  
biphasé  
(Elect-métal).

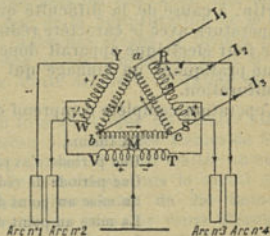


FIG. 32. — Transformation Scott de triphasé en quadriphasé (Four Electro-Metals de 30 t.).



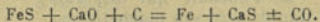
de l'opération le voltage secondaire et la réactance. La fusion s'opère à haut voltage (120-150 volts) et avec forte réactance, l'affinage avec bas voltage (60-75 volts) et faible réactance.

## II. — L'OPÉRATION MÉTALLURGIQUE

Les différences essentielles entre l'opération au four électrique et l'opération au four Martin tiennent en premier lieu à ce que l'on peut obtenir au moyen de l'arc des températures plus élevées et en second lieu à ce que les réactions dans le four ne sont pas influencées par la nature oxydante ou réductrice de la flamme.

On est donc tout d'abord libéré de l'obligation d'avoir à assurer une composition définie de la charge comme dans les autres procédés de fabrication de l'acier dans lesquels la présence de certains éléments (silicium dans le procédé Bessemer, phosphore dans le procédé Martin) est indispensable pour réaliser un dégagement de chaleur suffisant pour amener le bain à la température nécessaire.

Il est, d'autre part, extrêmement facile de constituer des laitiers propres à l'élimination des impuretés néfastes à la qualité du métal. Un laitier oxydant assurera l'élimination du phosphore, de même que dans le procédé Martin basique et un laitier réducteur permettra l'élimination du soufre à température très élevée conformément à la formule :



Cette réduction n'est généralement pas appliquée dans le four Martin, à cause de la difficulté que l'on a d'y concilier une haute température avec le caractère réducteur de la flamme.

Le four électrique apparaît donc comme le seul appareil sidérurgique pratiquant un affinage qui comprend une phase spéciale de désulfuration.

L'opération complète comprend donc :

- La fusion,
- Une période d'oxydation,
- Une période de réduction,
- La mise au point de la composition,
- La mise au point de la chaleur,
- La coulée.

Les mitrilles, dont la composition n'a qu'une importance accessoire, et qui sont généralement constituées d'acier doux ou demi-dur, sont chargées dans le four avec le laitier oxydant composé de 20 kilogrammes de chaux par tonne de mitraille. Généralement la rouille, les pellicules d'oxyde et les rentrées d'air suffisent à assurer

l'oxydation que l'on peut d'ailleurs accélérer par l'introduction d'une légère quantité de minerai. On pousse la décarburation jusqu'à 0,10 0/0 de carbone (galette trempée et pliée, dosage colorimétrique), condition préalable à l'élimination du phosphore, puis on évacue le laitier formé qui entraîne le phosphore de la charge sous forme de phosphate de chaux.

Le laitier réducteur se compose par tonne de 20 kilogrammes de chaux, 3 kilogrammes de sable, 3 kilogrammes de spath-fluor et 1 kilogramme d'antracite ou de ferro-silicium à 50 0/0 en poudre.

Le mécanisme de la désulfuration n'est pas aussi simple que l'indique la formule citée plus haut. Le départ du soufre est accompagné sinon précédé d'une désoxydation du métal provenant de la réduction de l'oxyde ferreux du laitier. Comme les concentrations en FeO du laitier et du bain sont en étroite dépendance, ce corps disparaîtra progressivement du bain. En fait, on constate, après quelques additions d'antracite sur le laitier, que celui-ci perd peu à peu sa teinte noire pour devenir blanc, ce qui dénote le départ de l'oxyde de fer.

Lorsque la teinte blanche est obtenue, ce que l'on constate en passant une barre de fer dans le laitier qui tombe alors en poudre après refroidissement, la teneur du bain en soufre est abaissée à 0,02 0/0.

Cette dernière opération ayant pour résultat de désoxyder le bain, les recarburants seront complètement utilisés et la mise au point de la composition se fera d'une façon beaucoup plus sûre et plus économique que dans les procédés ordinaires. L'emploi de l'aluminium n'est généralement pas nécessaire.

L'opération complète, telle que nous venons de la décrire, ne se pratique pas nécessairement dans tous les cas. Avec des charges liquides, on n'a à se préoccuper que de la désulfuration si le métal provient d'un appareil basique. Avec des scraps de bonne qualité on peut pratiquer l'arrêt au dur si les teneurs en P et S de la charge sont suffisamment basses. Cette dernière opération est alors très économique.

Comme exemple de l'emploi du four électrique au dernier affinage d'un métal déjà traité, nous citerons l'Acierie des Usines de South-Chicago, de l'Illinois Steel Co. La fonte est d'abord traitée au convertisseur Bessemer (deux cornues de 25 tonnes), puis le métal est déphosphoré au Martin (trois fours basculants de 250 tonnes) et finalement désulfuré au four électrique dans des fours Héroult de 25 tonnes (trois fours). La production de ces derniers est de 12.000 tonnes par mois.

## III. — LE POINT DE VUE ÉCONOMIQUE.

L'installation d'un four électrique peut être déterminée par diverses considérations: fabrication d'aciers spéciaux, installation dans un pays disposant uniquement de force hydraulique, utilisation d'énergie disponible (gaz de H. F. ou de fours à coke) ou de déchets sans valeur (tournures d'obus...), utilisation du four électrique comme partie d'un traitement d'ensemble ayant pour but de se libérer des spécifications relatives aux matières premières...

Les différents éléments du prix de revient sont les suivants.

**Matières premières.** — On peut passer des mitrilles à bas prix d'autant plus que l'on dispose de courant à meilleur marché. Il y a toutefois avantage à ce que la densité des mitrilles permette le chargement en une seule fois et à ce que les scraps présentent une conductibilité suffisante pour rendre l'amorçage des arcs facile.

La perte au feu, la consommation de ferros et de fondants, dépendent de l'habileté du fondeur et du genre de produits fabriqués.

**Énergie.** — Le nombre de kilowatt-heures nécessaire à la production d'une tonne d'acier est extrêmement variable. Sir Robert Hadfield le fixe à 782 kilowatt-heures, alors qu'aux Aciéries de Toronto, la fusion et l'affinage demandent seulement 550 à 575 kilowatt-heures.

La consommation dépend non seulement du tonnage du four et de la qualité de l'acier à fabriquer relativement à celle de la charge, mais encore de la continuité de la production qu'il faut chercher à assurer le mieux possible. Elle dépend aussi de la puissance mise sur le four et de l'usure du garnissage réfractaire qui augmente les pertes par conductibilité.

Il y a relation directe entre la durée de l'opération et la consommation.

Les différences de consommation d'une opération à l'autre proviennent surtout de la fusion qui ressent les variations de la puissance, de la nature de la charge, de la longueur des arrêts, entre coulée. L'affinage donne des chiffres beaucoup plus constants.

Étudiant deux campagnes d'un four Electro-Metals de 1,5 tonne produisant de l'acier de moulage, l'auteur montre :

a) Que pour l'opération à un laitier, une moyenne de 229 coulées, coupées seulement de deux arrêts, a donné une consommation de 761,4 kilowatt-heures par tonne et une durée d'opération de 2 h. 53' et que pour une opération à deux laitiers, une moyenne de 100 coulées avec arrêts hebdomadaires, a donné une consommation de 1.047 kilowatt-heures et une durée de 4 h. 03'.

b) Que l'usure de four sur la première des deux campagnes précédentes a fait varier la consommation de 680 à 834 kilowatt-heures, la durée de 2 h. 37' à 3 h. 08'.

c) En allure froide, les chiffres augmentent dans des proportions



élevées. C'est ainsi, que, pour 17 coulées effectuées dans ces conditions au même four, la consommation moyenne a été de 1.168 kilowatt-heures et la durée de 6 h. 38.

Le point essentiel est d'obtenir l'énergie à bon marché. En accroissant la puissance des unités de la centrale, on réduit le prix de revient du kilowatt-heure installé, donc les frais généraux et l'amortissement. En utilisant comme combustible le gaz des H. F. ou de fours à coke, ou le gaz de gazogène brûlant des combustibles inférieurs ou effectuant la récupération des sous-produits, on réduit les frais directs. Il faut s'efforcer principalement d'obtenir le coefficient d'utilisation maximum, le prix du kilowatt-heure dépendant du nombre d'heures pendant lequel le four est productif. Le coefficient annuel d'utilisation d'un four électrique fondant des scraps solides est généralement donné comme pouvant atteindre 55 à 60 0/0. Ce chiffre peut être amélioré et on doit arriver dans l'affinage de charges liquides à des coefficients de l'ordre de 75 à 80 0/0.

**Main-d'œuvre.** — Un fondeur et deux manœuvres suffisent pour le service propre d'un four de 2 tonnes.

**Réfractaire.** — La voûte est la partie qui s'use le plus vite (son remplacement ne demande d'ailleurs que quelques heures), les piédroits sont réparés, quand ils sont usés, jusqu'au niveau où cela est nécessaire. La sole, si elle est bien entretenue, peut durer beaucoup plus longtemps, et supporter, par exemple, un millier de coulées.

**Électrodes.** — L'usure normale par l'arc n'intervient que pour une part évaluée à 10-25 0/0. Le reste est détruit, par combustion au contact de l'air, perte que l'on s'efforce de diminuer en réalisant un joint étanche à l'entrée des électrodes dans le four. Avec des électrodes de mauvaise qualité, la consommation peut devenir énorme par la chute de blocs entiers dans le four ou par destruction par le courant au contact rendu défectueux par la mauvaise forme de l'électrode. La consommation dépend en outre du produit fabriqué.

**Les applications possibles actuelles du four électrique pourront être :**

1° *Fabrication de produits spéciaux.* — Avec les multiples ferro-alliages que l'on trouve actuellement sur le marché, cette application ne présente aucune difficulté :

2° « *Duplexing* » avec le procédé Thomas. — Cette application permettrait d'obtenir des aciers d'excellente qualité avec des fontes Thomas médiocres. L'auteur montre qu'avec un prix du kilowatt-heure raisonnablement bas, ce procédé peut être parfaitement économique.

3° *Fonderie d'acier.* — Comparant les petits convertisseurs à soufflage latéral du four électrique, l'auteur conclut que pour que la concurrence puisse s'établir il faut que le prix du kilowatt-heure ne dépasse pas 0 fr. 03 (prix de 1913), moyennant quoi on obtiendra des produits de qualité très supérieure avec le four électrique.

4° *Fusion du ferro-manganèse pour les additions.* — Cette pratique, qui présente de nombreux avantages, serait encore avantageuse avec le kilowatt-heure à 0 fr. 0375 (prix de 1913).

### Fabrication des ferros.

Si l'on n'a pas réussi, en France, à obtenir industriellement au four électrique de la fonte en partant du minerai, du moins a-t-on pu, pendant la guerre, aux usines des Établissements Keller et Leleux, à Livet, produire en quantité les fontes synthétiques par traitement de vieilles matières.

L'industrie des ferro-alliages est, au contraire, fort développée dans notre pays, grâce, notamment, aux Usines de Livet, déjà citées et à celles de la Société Electrométallurgique française (four Héroult) aujourd'hui fusionnée avec la Compagnie des Produits chimiques d'Alais et la Camargue.

Le ferro-manganèse, qui se préparait au haut fourneau, a été fabriqué au four électrique, aux États-Unis, depuis la guerre. Cette évolution doit être considérée comme provoquée par les cours élevés atteints en 1916, 1917 et 1918 et la nécessité d'utiliser les minerais américains pour satisfaire aux besoins de l'industrie sidérurgique des États-Unis, dont la demande passa de 189.088 tonnes en 1914 à 356.000 tonnes en 1918. Le four électrique convient bien au traitement, parce qu'on peut faire fonctionner de petites unités près des sources de ces minerais. En 1918, on produisit aux États-Unis 333.027 tonnes de ferro-manganèse, dont 23.000 tonnes, soit 7 0/0, furent obtenues au four électrique. Le four électrique a non seulement aidé matériellement à l'utilisation des minerais du pays, mais encore il a procuré une économie considérable de coke, car il ne consomme qu'environ 1 tonne 1/4 de lignite ou de charbon bitumineux par tonne de ferro-manganèse, à 78,82 0/0, contre 2<sup>1</sup>/<sub>9</sub> de coke que demande le haut fourneau. Pendant la guerre et en 1920, 9 usines américaines ont fait du ferro-manganèse. Elles ont une puissance de 58.000 kilowatt-ampères et possèdent 33 fours utilisant de 350 à 5.000 kilovolt-ampères. Pendant cette période, le prix du ferro a passé de 100 dollars à 200 dollars (1.400 à 2.800 francs au change de 14 francs) par tonne ; vers la fin de 1920, le prix est descendu à 1.850 francs par tonne.

Les réactions qui s'effectuent dans le four électrique (1) sont à peu

(1) R.-M. KENNY et GAY LONERGAN, *Fabrication du ferro-manganèse au four électrique* (*Trans. of the Amer. Inst. of Mining et Metall. Engin.*, février 19 21).

près les mêmes que celles qui se passent dans le haut fourneau, la charge comprenant les mêmes proportions de carbone pour la réduction et de fondant pour fixer la silice, le courant suppléant simplement au combustible pour porter la charge à la température nécessaire. Il y a seulement tendance à formation de carbure de calcium lorsque de la chaux et du charbon glissent près des électrodes. En général, pour le minerai de manganèse traité pendant la guerre, les pertes dans le laitier ou par entraînement ont été les mêmes dans le four électrique que dans le haut fourneau.

M. P. W. Royster, du Bureau des Mines des États-Unis, qui a étudié les opérations de onze hauts fourneaux à ferro-manganèse, donne les résultats de quarante périodes expérimentales de dix jours chacune. Des résultats analogues ont été recueillis pendant trois mois de fonctionnement d'un four électrique de 1.100 kilowatts.

### Comparaison entre le four électrique et le haut fourneau.

	HAUT FOURNEAU	FOUR ÉLECTRIQUE
	kilogrammes	kilogrammes
Minerai pour 1.000 kilos de métal.....	2.672,4	2.918,6
Coke — — — — —	2.821,4	
Charbon — — — — —	89,2	1.266,2 (lignite)
Calcaire — — — — —	1.047,6	474,1
Chaux — — — — —		112,8
<i>Analyses des minerais.</i>		
Mn 0/0.....	40,33	34,8
SiO <sup>2</sup> .....	8,60	13,2
Laitier pour 1.000 kilos de métal.....	1.425,4	1.262,2
<i>Métal.</i>		
Mn 0/0.....	74,9	73,6
Si 0/0.....	1,15	2,9
<i>Analyses des laitiers.</i>		
CaO 0/0.....	41,75	37,8
MgO 0/0.....		2,4
Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> 0/0.....	14,0	7,9
SiO <sup>2</sup> 0/0.....	28,1	28,6
Mn 0/0.....	10,6	12,4
Carbone pour 1.000 kilos de métal...	2.374,1	567,8
Mn chargé — — — — —	1.062,4	1.021,8
Mn 0/0 dans le métal.....	72,0	72,0
Mn 0/0 dans le laitier.....	14,7	15,0
Mn 0/0 dans les fumées.....	12,8	13,0 (par différence)



Les pertes dans les deux cas sont égales, quoique le four électrique ait reçu du minerai à 34,8 0/0 de Mn et 13,2 0/0  $\text{SiO}_2$ , tandis que le haut fourneau traitait du minerai à 40,33 0/0 Mn et 8,6 0/0  $\text{SiO}_2$ . Le laitier du four électrique était moins basique que celui du haut fourneau.

Comme on pouvait s'y attendre, la différence la plus grande porte sur la consommation de carbone, qui est de 2.374,1 dans le haut fourneau contre 567,8 dans le four électrique.

**Installation.** — Les auteurs ont suivi la marche de deux fours, l'un de 1.200 kilovolt-ampères, l'autre de 1.800 kilovolt-ampères alimentés en courant triphasé.

Le four de 1.200 kilovolt-ampères consistait en une cuve rectangulaire en tôle d'acier de 12<sup>m</sup>,5 de 5<sup>m</sup>,40 par 2<sup>m</sup>,40 et 2<sup>m</sup>,10 de profondeur, portées par quatre piliers en béton. Les trois électrodes étaient suspendues à des fers I portés par les poutres de la charpente. Les électrodes avaient 43 centimètres de diamètre et 1<sup>m</sup>,82 de longueur. Les côtés et le fonds étaient garnis de 203 millimètres de brique réfractaire, contre lesquelles était damé un mélange de magnésie blanche de Californie calcinée et de brai. Le four n'avait pas de voûte, le niveau de la charge était monté le plus haut possible. Un plancher de chargement de niveau avec la partie supérieure du four facilitait la manœuvre d'alimentation.

**Transformateurs.** — Trois transformateurs monophasés, de 400 kilovolt-ampères, remplis d'huile, refroidis par l'air, tension du primaire 13.200 volts, tension du secondaire 75/37 1/2, résistance propre 10 0/0.

Les auteurs donnent le dessin et les cotes des colliers de prise de courant à circulation d'eau. Pour des électrodes de 40 centimètres, ces colliers ont 403 millimètres de diamètre, 450 millimètres de hauteur, 87 millimètres d'épaisseur renforcés par trois nervures de 50 millimètres. Les manches de ces sortes de tenailles ont 1<sup>m</sup>,20 de longueur, 150 millimètres de hauteur et 75 millimètres d'épaisseur, et sont terminés par des retours en équerre sur lesquels sont boulonnés les câbles flexibles amenant le courant.

Le bronze des colliers était à 95 0/0 de cuivre. Le contact entre cuivre et électrode portait 2,4 à 3,2 ampères par centimètre carré.

**Four de 1.800 kilovolts-ampères.** — Longueur 5<sup>m</sup>,40, largeur 2<sup>m</sup>,70, profondeur 2<sup>m</sup>,10; électrodes de 61 centimètres de diamètre. Cuve doublée au fond et sur les côtés de 203 millimètres de brique rouge. Garnissage de magnésie calcinée et de brai chaud. Pas de voûte. Bronze des colliers à 90 0/0 de cuivre. Câbles sandwiches.

**Conduites des opérations.** — *Difficultés.* — La conduite des fours n'est pas difficile, mais il peut se produire des accidents. Ainsi, il peut se former du carbure de calcium quand il y a un excès de carbone et assez de chaux pour donner un laitier contenant beau-

coup plus de 40 0/0 CaO, il y a dans ce cas une perte de Mn par volatilisation. On a évité la formation de carbure :

1° En remplaçant l'antracite et le charbon gras par du lignite :

2° En réduisant la proportion de C à un léger excès seulement et celle du calcaire à un chiffre tel que le laitier ne contienne que 40 0/0 de chaux et magnésie ensemble ;

3° En réduisant de moitié la charge de carbone tant que dure la formation de carbure.

**Soufflages.** — Ce sont les explosions dues à l'inflammation d'une quantité d'oxyde de carbone s'accumulant dans la charge. On les évite en remplissant le four après la coulée et en n'y touchant pas jusqu'au moment de couler de nouveau. On a constaté, sur un four de 3.500 kilowatts, des flammes atteignant 15 mètres de hauteur pendant plusieurs minutes à la suite d'un soufflage.

**Perforation des fonds.** — Les fonds sont faits soit en carbone, soit en magnésite calcinée, soit en brique réfractaire. Dans une usine, le fond en carbone se perçait tous les deux ou trois mois jusqu'à ce que le four ait été élevé au-dessus du sol pour permettre un refroidissement par l'air. Les fonds de magnésite n'ont jamais crevé, le fond de brique employé à Héroult, en Californie, s'est bien comporté.

**Coulée.** — La coulée dans des pots où le fer et le laitier sont abandonnés au refroidissement est bien préférable à la coulée dans des poches à transvaser, le fer obtenu est plus propre. Le laitier retenant du métal est en si petite quantité qu'on peut l'ajouter à la charge du lendemain. Les pots sont en fonte, on ne doit les remplir qu'aux deux tiers pour éviter qu'ils soient percés par le métal trop chaud, on les brasque légèrement de terre réfractaire intérieurement.

Pour du ferro-manganèse à 73,6 0/0 de manganèse, fabriqué dans un four de 11.000 kilowatts, les auteurs ont enregistré un facteur de charge électrique moyen de 81,6 0/0 et une utilisation du temps de 89,1 0/0 pendant quatre mois. Pendant le dernier mois de marche, ces facteurs ont été respectivement de 85,1 et 96,4 0/0. Le prix de revient non compris amortissements, intérêts, impôts et frais de vente, est ressorti à 176,41 dollars par grosse tonne (900 francs par 1.000 kilogrammes au change de 5 fr. 18 le dollar). Sans compter l'économie à réaliser sur les matières premières, la force motrice, la meilleure organisation de l'usine et un coefficient de charge plus élevé, la fabrication du ferro-manganèse peut être faite à bien meilleur marché, si l'électrode à cuisson par le four qui l'emploie, de Söderberg, actuellement en essai, continue à donner satisfaction, et si l'on peut réduire les pertes de manganèse non dosées.

### Développement et état actuel de l'électrométallurgie.

**1° France.** — En France, le berceau de la fabrication de l'acier électrique a été à La Praz, en Maurienne, dans les puissantes usines de la Société électrométallurgique Française (Froges) avec le four Héroult. Cette fabrication s'y est largement développée. D'autre part à Livet, sur la Romanche, la Société des Établissements Keller-Leleux a, dès l'origine de l'application du four électrique à la fabrication de l'acier, mis en service des fours du type Keller. La Société des Hauts Fourneaux et Forges d'Allevard possède quatre fours du système Chaplet en outre des dix fours à ferro-alliages et perfectionne chaque jour son outillage. Enfin, à Ugine, en Savoie, M. Paul Girod a créé une magnifique et très puissante aciérie, constituant l'exemple, jusqu'alors unique, d'une usine métallurgique complète exclusivement fondée sur l'emploi de l'énergie hydro-électrique, usine comprenant toutes les phases de la fabrication de l'acier, depuis la fusion du métal jusqu'à la livraison des pièces mécaniques entièrement finies et ajustées et pourvues de l'outillage le plus moderne qui se puisse trouver.

En dehors de ces quatre usines des Alpes, possédant quinze appareils, le four électrique pour la fabrication de l'acier a pénétré avec succès dans la région du Centre, et en particulier dans le département de la Loire, qui pourra peut-être un jour le substituer à ses procédés actuels, plus lents, pour les fabrications de qualité. Plusieurs usines ont fait, à ce sujet, des recherches qui ont abouti à la mise en service régulier de plusieurs fours. Il est certain que la région du Centre trouvera là une intéressante utilisation des forces naturelles dont elle dispose, et aussi des grandes centrales thermiques qui s'y sont installées.

Il existait en France, en l'année 1913, vingt-deux fours électriques en service servant à la fabrication de l'acier; trois étaient en construction ou en projet. Ces appareils produisaient plus de 21.000 tonnes d'acier, comme l'indique le tableau ci-dessous.



## Production de l'acier électrique en France (tonnes)

ANNÉES	PRODUITS BRUTS (lingots)	ANNÉES	PRODUITS BRUTS (lingots)
	tonnes		tonnes
1908	2.289	1915	"
1909	6.456	1916	44.429
1910	11.759	1917	54.031
1911	13.850	1918	58.282
1912	15.848	1919	42.559
1913	21.124	1920	58.080
1914	"	1921	24.457

Ce tableau montre, en outre, le gros effort accompli depuis la déclaration de guerre; on a construit vingt et un appareils nouveaux d'une production globale annuelle de 55.670 tonnes tant en acier qu'en ferro-alliages.

En ce qui concerne les ferros, les statistiques montrent qu'une grande quantité continue à être fabriquée au haut fourneau, mais la proportion des ferros électriques a tendance à croître, comme le montre le tableau suivant, pour les années d'avant-guerre :

Détail de la production de la France en fontes spéciales (ferro-manganèse, ferro-silicium, ferro-chrome) de 1905 à 1913.

ANNÉES	AU COKE tonnes	AU FOUR ÉLECTRIQUE		PRODUCTION totale tonnes
		tonnes	0/0 de la production totale	
1905	32.561	11.706	26	44.267
1906	39.194	13.657	26	52.851
1907	41.489	15.740	27	57.229
1908	46.693	15.329	24	62.022
1909	39.206	14.867	28	54.073
1910	40.106	24.353	36	64.459
1911	38.770	31.270	44	70.040
1912	46.372	30.660	40	77.032
1913	49.287	32.230	40	81.517

Quant aux années d'après-guerre, elles accusent un progrès considérable dans cette voie :

55.422 tonnes au four électrique, en 1919
59.656 — — — — — 1920

Là encore, nous voyons que les fabrications électriques répondent surtout aux fabrications chères, c'est-à-dire à haute teneur.

Les ferros électriques sont produits tout d'abord par une partie des usines citées plus haut comme productrices d'acier électrique, quelquefois avec les mêmes appareils. Ils le sont, en outre, par quelques usines spéciales comme celle que possède à UGINE la Société anonyme électrométallurgique (procédés Paul Girod), qui dispose de trente fours et de 20.000 chevaux et produit annuellement 8.000 tonnes. Ils le sont enfin par un certain nombre d'usines que nous pourrions appeler usines mixtes, à la fois électrochimiques et électrométallurgiques. Ces usines sont outillées pour fabriquer, à leur gré, soit des ferros, soit des produits chimiques (principalement le carbure de calcium), soit souvent aussi de l'aluminium. Elles règlent leur production suivant la demande, le marché, la puissance disponible, etc..., visant ainsi à supprimer les à-coups. Telles sont les usines alpêtres de la Société des Produits Chimiques d'Alais et de la Camargue (35.000 chevaux), celles de la Société d'Électrochimie de Bozel (Plan du Var, 3.000 chevaux), celles de la Société Keller-Leleux, de la Compagnie universelle d'Acétylène et d'Électrométallurgie, etc.

Deux nouvelles fabrications sidérurgiques se sont développées en France au cours de la guerre :

1° Celle de la fonte synthétique au four électrique qui doit être mentionnée ici et qui avait été envisagée dès 1902. Le four électrique permet, en effet, de préparer avec précision toute la gamme des métaux ferreux depuis 0,05 0/0 de carbone jusqu'à 4 0/0 et plus ;

2° La seconde fabrication est celle du fer électrolytique que MM. Bouchayer produisent directement sous forme de tubes. Un chauffage suffit à dégager du fer l'hydrogène qui le rend cassant et à en faire un métal très résistant.

Bien que n'ayant aucun rapport avec le four électrique, il convenait de donner une mention à ce procédé d'électro-sidérurgie.

2° **Statistique générale.** — En 1910, le nombre des fours électriques qui existaient dans le monde entier était de cent douze, répartis entre soixante-dix usines. De ces fours trente-huit étaient de marque française, soit 34 0/0. Pour ne citer que quelques exemples, Cockerill a un four Girod de 5 tonnes, Krupp un four Girod de 12 tonnes 1/2. Aux États-Unis, le Trust de l'Acier vient d'acquérir la licence des fours Héroult, à la suite des remarquables expériences poursuivies avec deux fours de 15 tonnes.

Les travaux de nos ingénieurs étaient donc très appréciés à l'étranger ; et nous avons de ce fait une belle avance.

Quant à la production des fours électriques, elle est résumée dans le tableau suivant pour les trois années d'avant-guerre :

**Production des lingots d'acier au four électrique dans les différents pays qui mentionnent à part ce produit dans les statistiques.**

	1911	1912	1913
	tonnes	tonnes	tonnes
France.....	13.850	15.848	20.757
Allemagne et Luxembourg..	60.654	74.177	88.881
Autriche.....	21.606	19.891	24.902
Hongrie.....	1.261	1.665	1.935
États-Unis.....	29.571	18.602	"

La simple lecture de ces chiffres, remarquons-le, semblerait indiquer que la France, très en avance au point de vue de l'invention, s'est laissée distancer dans l'utilisation des procédés et des appareils qu'elle a créés. Il n'en est rien. Il faut distinguer, en effet, entre l'acier produit entièrement par le four électrique et l'acier qui y passe seulement trois heures. Avec cette distinction, l'avance apparente (comme tonnage) des Allemands n'existe plus. Si on ne considère que le tonnage des lingots d'acier *sortant directement* du four électrique, c'est la France qui tient la tête.

*Influence de la guerre sur le développement de l'aciérie électrique.* — Dans tous les pays, la guerre a provoqué un accroissement extraordinaire de production de l'acier au four électrique. Nous possédons à ce sujet des renseignements numériques qui, pour dater de la fin de 1916, n'en sont pas moins suggestifs. Le tableau ci-contre les résume éloquentement. Il montre en même temps combien sont prédominants les types français Héroult et Girod.



	NOMBRES TOTAUX EN				EN 1916				
	Mars 1910	Janvier 1914	Janvier 1915	Janvier 1916	Héroult	Giroud	à Induction	Rennerfelt	Autres systèmes
Allemagne et Luxembourg	30	34	46	53	19	6	19	—	9
Angleterre.....	7	16	16	46	20	1	2	4	19
Autriche-Hongrie.....	10	10	18	18	10	3	3	—	2
Belgique.....	3	3	3	3	2	1	—	—	—
Espagne.....	—	1	1	2	—	—	1	—	1
France.....	23	13	17	21	11	7	2	1	—
Italie.....	12	20	22	22	4	1	2	—	15
Norvège.....	—	3	2	6	—	—	2	3	1
Russie.....	2	4	9	11	3	1	1	4	2
Suède.....	5	6	18	23	2	—	1	20	—
Suisse.....	2	2	3	4	1	2	—	1	—
Europe.....	94	112	155	209	72	22	33	33	49
Canada.....	3	3	2	8	3	—	—	—	5
États-Unis.....	10	19	41	73	40	4	3	2	24
Mexique.....	3	4	1	1	—	—	1	—	—
Nord-Amérique....	16	26	44	82	43	4	4	2	29
Japon.....	—	1	1	1	—	—	1	—	—
Australie.....	—	—	1	1	—	—	—	—	1
Chili.....	—	—	—	1	—	—	—	—	1
Autres pays.....	—	—	12	9	—	—	—	—	9
TOTAUX.....	110	139	213	303	115	26	38	35	89

On voit que ce tableau n'est pas à jour, puisque, depuis la date de son établissement, on a encore construit de nombreux fours électriques en France. Les autres pays ont, eux aussi, progressé rapidement :

A fin 1917, on comptait en Italie 187 fours de fusion pour métaux, en service.

Au cours des années 1916 et 17, on avait installé en Allemagne et en Autriche-Hongrie dix usines du type Lindenberg, pouvant faire ensemble 125.000 tonnes d'acier électrique par an. Onze autres installations étaient en cours pour faire ensemble 220.000 tonnes.

En Angleterre, où l'aciérie électrique s'est considérablement déve-

loppée, c'est le type *Greaves* qui paraît être en faveur. Cet appareil fonctionne sur courant triphasé : deux des phases sont reliées aux deux électrodes verticales et la troisième à la sole conductrice du four.

Disons en passant que le plus grand four d'aciérie construit jusqu'ici semble être celui que les usines de Duquesne (États-Unis) ont mis en service en novembre 1916. Il consomme 175 kw.-h. par tonne d'acier et traite de la fonte basique liquide. C'est un four Héroult de 20 tonnes de capacité nominale, mais qui a fourni des coulées de 27 à 30 tonnes. Il fait de l'acier pour canons et pour roulements à billes.

3° **Situation actuelle à l'Étranger.** — La Suède est le seul pays qui produise actuellement un tonnage important de fonte au four électrique, à savoir :

	ANNÉE 1919	ANNÉE 1920
	t. m.	t. m.
Fonte au haut fourneau électrique.....	57.883	66.782
— four électrique.....	6.587	15.793
<b>TOTAL.....</b>	<b>64.470</b>	<b>82.575</b>
Soit 0/0 de la production totale..... environ	13,0	17,5

La consommation moyenne par tonne étant de 25,2 hectolitres de charbon de bois et 2.628 kilowatt-heures, au haut fourneau, de 2.596 kilowatt-heures, au four électrique.

Ce même pays a produit, en 1919, 14.852 tonnes et, en 1920, 13.624 tonnes de ferro-alliages, la majeure partie au four électrique (32 appareils) avec une consommation moyenne de 7.384 kilowatt-heures par tonne.

La fabrication électrique de l'acier s'y est élevée, d'autre part, à :

	ANNÉE 1919	ANNÉE 1920
	t. m.	t. m.
Lingots.....	9.561	9.329
Moulages directs.....	2.257	3.027
<b>TOTAL.....</b>	<b>11.818</b>	<b>12.356</b>
Soit 0/0 de la production totale.....	2,42	2,82

provenant de vingt-deux fours à électrodes et de un four à induction.

Sur les autres pays, les renseignements statistiques sont peu abondants; citons cependant les États-Unis, dont les progrès sont rapides dans l'application du four électrique à toutes les métallurgies.

Voici d'abord la statistique comparée des fours électriques en 1919 et 1920 :

Total des fours électriques des divers types aux États-Unis.

TYPES	ANNÉE 1919	ANNÉE 1920	NOUVELLES installations en 1920
Héroult.....	152	159	7
Snyder.....	46	52	6
Rennerfelt.....	18	17	- 1
Moore.....	20	22	2
Greaves-Etchells.....	17	23	6
Girod.....	5	5	0
Divers.....	65	78	13
<b>TOTAUX.....</b>	<b>323</b>	<b>356</b>	<b>33</b>

D'autre part, il y a actuellement, en Amérique, deux cent soixante et un fours électriques utilisés pour la fusion des métaux autres que le fer.

Ces fours se décomposent suivant huit types différents dont trois représentent plus de 80 0/0 du total.

Ajax Wyatt.....	148	45	0/0
Baily.....	61	23,5	
Detroit (oscillant).....	44	17,5	
Booth (tournant).....	20	7,5	
Rennerfelt.....	9	3,5	
Snyder.....	7	2,5	
Weeks.....	1	1,5	
Ludlum.....	1		

a) Le four Bailey est le plus ancien de tous. Il est utilisé pour le bronze, pour les alliages, pour l'aluminium. Le modèle courant est d'une capacité de 8 tonnes (105 kilowatts). Un modèle de 200 tonnes (1.000 kilowatts) est en service à l'Anaconda-Copper Mining Co, à Butte.



b) Le four Ajax-Wyatt est plus récent et beaucoup plus répandu, puisqu'il représente à lui seul 45 0/0 du nombre de fours en service aux États-Unis. Tous servent à peu près uniquement à la fabrication des bronzes laminés.

L'American Brass Co à elle seule possède quarante fours de cette marque et la Chase Metal Works, 30.

c) Les fours « Detroit Rocking » sont du type de 1 tonne; ils portaient autrefois le nom de four-Gillett; introduits récemment sur le marché, ils se répandent vite.

d) Le four Booth est le plus récent, il en existe plusieurs types allant de 120 kilogrammes à une tonne.

e) Le four Rennerfelt est déjà connu et employé pour la fabrication de l'acier aux États-Unis, au Canada et en Europe.

**Importance du four électrique pour l'avenir de la sidérurgie française.** — La France s'est peut-être laissée distancer pendant la guerre au point de vue de l'aciérie électrique bien que, dans la plupart des pays, on fasse surtout de l'affinage et du superaffinage d'acier, tandis qu'en France la fabrication de l'acier en partant de la fonte tient une large place.

La pénurie de charbon nous fait, plus que jamais, une obligation d'utiliser au maximum notre énergie hydraulique.

Alors que la production houillère de notre pays n'atteint que 40 millions de tonnes, celle de l'Angleterre est de 292 millions de tonnes, celle de l'Allemagne de 279 millions de tonnes, celle des États-Unis de 517 millions de tonnes. La Belgique ne produit que 23 millions de tonnes; mais ce chiffre, relativement très supérieur au nôtre, répond à ses besoins et permet à son industrie métallurgique et à ses industries de construction mécanique, grâce au bon marché de la main-d'œuvre, de faire bonne figure sur le marché de l'exportation.

Mais si la France est pauvre en charbon, elle est riche en ressources hydrauliques; il résulte, en effet, d'évaluations récentes que l'Allemagne disposerait au maximum de 1.500.000 chevaux, et l'Angleterre de 400.000, alors que la France en aurait près de 8.000.000. Ce chiffre est supérieur à celui de l'Espagne, de l'Italie, de la Suisse, de l'Autriche-Hongrie, de la Suède et dépasse même celui de la Norvège. Le jour où ces puissances formidables seront aménagées, ne serait-ce qu'en partie, notre industrie sidérurgique, plus puissante que jamais, en pourra tirer un bénéfice considérable.

On voit donc l'intérêt national qui s'attache, pour la France, à la mise en valeur rapide de ses chutes d'eau et des forces immenses que l'on peut aménager sur les cours d'eau du domaine public. Nous avons certainement là un avantage sur nos rivaux.

Au cours de la guerre, on s'est appliqué, sous l'empire de la nécessité, à mettre en valeur ces forces perdues.

Nous n'utilisons, en 1914, que.....	750.000 chevaux hydrauliques
De 1916 à 1919, on en a installé.....	625.000 — —
Et de 1920 à 1921, on en a installé.....	225.000 — —
En 1921, nous disposons ainsi de.....	1.600.000 chevaux hydrauliques

Cette augmentation de force motrice déjà réalisée représente une économie de 9 millions de tonnes de houille par an.

Voici, à titre d'indication, ce que peut donner actuellement 1 kilowatt-an :

Ferro-silicium à 50 0/0.....	1.450 kilogrammes
Fonte.....	3.300 —
Acier.....	8.760 —
Fer électrolytique.....	2.000 —
Ferro-chrome.....	960 —
Cuivre (raffinage seul).....	20.000 —
Calcium.....	145 —
Magnésium.....	360 —
Aluminium.....	290 —

Notons aussi qu'on peut assurer le fonctionnement des fours électriques par des moteurs à gaz pauvre accouplés aux dynamos. Ces moteurs sont alimentés facilement par les gaz des hauts fourneaux et des fours à coke, et on a constaté que le prix de revient du kilowatt-heure produit avec un moteur à gaz pauvre est comparable à celui que donnent les usines hydro-électriques. Un nouveau champ d'action est donc offert à l'électro-sidérurgie et ses applications.

## VI. — ESSAIS MÉCANIQUES

§ 1<sup>er</sup>. — ESSAIS DE TRACTION

1° **Machines d'essai.** — Les organes servant à la production de l'effort, comme ceux qui servent à le mesurer et qui doivent être distincts, doivent donner un fonctionnement continu; la vitesse de l'action doit être uniforme et ne pas être supérieure à 2 centimètres par minute (1).

Les machines, comme les appareils d'attache, doivent présenter des dispositifs permettant au barreau de s'orienter librement dans la direction de la traction, sans qu'il puisse se produire d'effort de flexion transversal.

Les éprouvettes doivent être bien centrées dans les mordaches.

La précision des graduations doit permettre les lectures à moins de 0,5 0/0 de la charge maximum.

2° **Éprouvettes d'essai.** — Sur les éprouvettes soumises à la traction, on marque des repères destinés à la mesure de l'allongement et situés à une distance des naissances des attaches ou des congés des têtes au moins égale au diamètre ou au plus grand côté de la section transversale de l'éprouvette.

Pour les éprouvettes découpées dans une masse métallique, on emploiera de préférence la forme du barreau normal, ayant comme partie utile un cylindre de 13<sup>mm</sup>,8 de diamètre (150 millimètres carrés de section) et 100 millimètres de longueur comprise entre repères.

On peut obtenir des résultats sensiblement comparables en employant des barreaux géométriquement semblables; en particulier si la pièce dans laquelle on prélève l'éprouvette est trop petite pour permettre le découpage du barreau normal, on emploiera le barreau réduit, géométriquement semblable, de 9<sup>mm</sup>,77 de diamètre

(1) Ce qui donne, pour la durée de l'essai d'un barreau de traction normal, de 100 millimètres de longueur, 1/2 minute si l'allongement total est de 10 0/0, 1 minute si l'allongement total est de 20 0/0.



(75 millimètres carrés de section) et 70 millimètres de longueur entre repères.

Ces barreaux auront des têtes cylindriques, raccordées par des congés arrondis, s'appuyant sur les mordaches par tout le pourtour de leur circonférence ou saisiés par des coins à griffes sur une longueur au moins égale au double du diamètre du barreau.

Lorsqu'on essaiera des barres rondes brutes de forgeage ou d'étrage, on pourra employer des barreaux sans tête en les saisissant par des coins à griffe sur une longueur égale à au moins trois fois le diamètre. La distance des repères destinés à la mesure de l'allongement sera déterminée par la formule :

$$L^2 = 66,67S \quad (S \text{ étant la section}).$$

Les barreaux plats, découpés dans des tôles ou des laminés et dont l'épaisseur est égale à celle du produit, auront une largeur et une longueur entre repères déterminées par le tableau suivant :

## Dimensions des éprouvettes plates de traction.

ÉPAISSEUR	SECTION	ÉCARTEMENT		LONGUEUR de la partie calibrée
		entre repères		
	mm <sup>2</sup>	200		mm
LARGEUR UNIFORME DE 30 MILLIMÈTRES				
5 millimètres.....	150	100	}	200
6 — .....	180	110		
7 — .....	210	120		
8 — .....	240	125		
9 — .....	270	135		
10 — .....	300	140		
LARGEUR UNIFORME DE 25 MILLIMÈTRES				
11 — .....	275	135	}	200
12 — .....	309	140		
13 — .....	325	150		
14 — .....	350	155		
15 — .....	375	160		
16 — .....	400	165	}	250
17 — .....	425	170		
18 — .....	450	175		
19 — .....	475	180		
20 — .....	500	185		
LARGEUR UNIFORME DE 20 MILLIMÈTRES				
21 — .....	420	170	}	250
22 — .....	440	175		
23 — .....	460	180		
24 — .....	480	185		
25 — .....	500	190		
26 — .....	520	195		
27 — .....	540	200		
28 — .....	560			
29 — .....	580			
30 — .....	600			

Les têtes pourront présenter un trou dans lequel on passe une broche dont la section sera au moins le double de celle de l'éprou-

vette, ou être saisies par des coins à griffes sur une longueur égale au double de la largeur de l'éprouvette.

**3° Prélèvement et préparation des éprouvettes.** — Dans la plupart des cas, les éprouvettes doivent être essayées dans l'état même où se trouve le métal de la pièce en examen, dont elles doivent caractériser les propriétés. Il sera nécessaire pour cela qu'elles soient découpées entièrement à froid à la machine-outil, et usinées avec des précautions telles qu'on ne produise ni écrouissage superficiel, ni échauffement appréciable du métal. En particulier l'usinage sera toujours terminé par au moins une passe n'enlevant que 2 à 3 dixièmes de millimètre de métal. On fera ensuite disparaître les stries laissées par l'outil et la lime, soit par passage à la machine à rectifier (avec meule à eau), soit par polissage longitudinal à la lime douce et au papier d'émeri.

Dans les cas où le découpage au chalumeau du fragment destiné à fournir l'éprouvette sera autorisé, il devra rester une épaisseur de métal de 15 millimètres au moins à enlever à froid.

Lorsque l'épreuve a pour but de caractériser un métal qui doit être ultérieurement soumis à des opérations de forgeage ou simplement de cémentation, de trempe et de recuit, il n'y a plus lieu de prendre autant de précautions pour le découpage des éprouvettes. Celles-ci peuvent même être préparées, ou au moins dégrossies, par forgeage, mais les dimensions successives à réaliser doivent être clairement indiquées dans chaque cahier des charges. Les éprouvettes peuvent ensuite recevoir un traitement thermique, déterminé dans chaque cas d'après l'emploi que l'on veut faire du métal. Ce traitement thermique, qu'il consiste en un simple recuit, ou en succession de trempes et de recuits, doit être défini de façon à pouvoir toujours être reproduit sans aucune incertitude, en indiquant, en fonction du temps, la succession des températures que doit prendre l'éprouvette. Les températures doivent être exprimées numériquement, rapportées à l'échelle normale de température et mesurées au moyen de pyromètres convenablement vérifiés. Le chauffage doit être effectué dans des fours à température uniforme ou dans des bains métalliques, mais jamais dans des feux de forge.

Les durées d'échauffement et du maintien des températures indiquées doivent être fixées, en fonction des dimensions des pièces chauffées, de façon à donner l'assurance que la température est bien uniforme jusqu'au cœur de la pièce.

**4° Grandeurs mesurées dans l'essai de traction.** — La limite élastique est la charge pour laquelle il commence à se produire une déformation permanente. Pratiquement, et sauf indications spéciales, la mesure se fera au 1/500<sup>e</sup> près. On admettra donc que la clause fixant pour la limite élastique une valeur de  $n$  kilogrammes est remplie, si l'éprouvette ayant été soumise à la charge correspondant



aux  $n$  kilogrammes par millimètre carré pendant 10 secondes, puis déchargée, revient à sa longueur primitive à  $1/500^e$  près.

La résistance ou charge de rupture est la charge la plus élevée atteinte au cours de l'essai, exprimée en kilogrammes par millimètre carré de la section initiale.

L'allongement est l'augmentation de longueur rapportée à 100 millimètres, prise par l'éprouvette jusqu'à la rupture. On le mesure en rapprochant les deux parties de l'éprouvette brisée et relevant la distance des repères préalablement tracés sur l'éprouvette.

Cette mesure n'est valable que dans le cas où la cassure ne se produit pas trop près d'une tête. On devra donc éliminer du calcul des moyennes les barreaux pour lesquels la rupture se produira dans le quart extrême de la longueur utile (c'est-à-dire lorsque la distance de l'un des repères à la section de rupture est plus petite que le tiers de la distance de l'autre repère à la section de rupture).

On peut éviter d'avoir ainsi à éliminer certaines éprouvettes, en marquant à l'avance un certain nombre de divisions égales entre les repères ; on pourra alors toujours déterminer l'allongement comme si la rupture se produisait au milieu de l'éprouvette, en tenant compte de ce que la déformation se produit symétriquement des deux côtés de la section de rupture.

La striction est le rapport de la diminution de la section de rupture à la valeur initiale de la section du barreau :

$$\frac{S - S'}{S}$$

$S$  étant la section initiale du barreau,  $S'$  la section de rupture.

Les indications précédentes ont été données par la commission permanente française de standardisation.

Pour la comparaison de différents résultats d'essais de traction il est nécessaire, en ce qui concerne les allongements, de connaître la valeur du rapport qui relie  $L$  à  $S$ . Les chiffres obtenus peuvent différer si le rapport n'est pas le même.

En Angleterre et en Amérique  $\frac{L}{\sqrt{S}} = 12,04$  et  $4,51$ , en Allemagne  $11,3$  :

$$\text{Module d'élasticité : c'est } \mu = \frac{dP}{dL} \frac{L_0}{S_0}$$

ou  $dL =$  augmentation de la longueur initiale  $L_0$  pour une augmentation de la charge égale à  $dP$  :

$S_0 =$  section initiale de l'éprouvette ;

$\mu = 20.000$  à  $22.000$  pour tous les aciers quel que soit le traitement subi ;

$\mu = 10.000$  à  $14.000$  pour les fontes ;

$\mu = 7.000$  à  $8.000$  pour les alliages légers d'aluminium ;

$\mu = 4.500$  à  $5.000$  pour les alliages d'aluminium.

**Métaux à faibles allongements.** — Certains métaux, les fontes, par exemple, donnent aux essais de traction des résultats erronés. L'éprouvette se rompt avant d'avoir supporté la véritable charge de rupture par suite d'efforts de flexion anormaux dus à la non-coïncidence de l'axe de l'éprouvette avec l'axe de traction et à la fragilité du métal. On tend à remplacer actuellement dans ce cas l'essai de traction par un essai de dureté ou un essai de cisaillement.

Frémont relie l'effort de traction à la rupture R, à l'effort de rupture au cisaillement par la formule :

$$R = \frac{c-7,5}{0,31}$$

Pour les fontes mécaniques, Le Thomas indique :

$$R \text{ compression} = \frac{3\Delta}{5} - 54 ;$$

$$R \text{ cisaillement} = \frac{\Delta}{5} - 19 ;$$

$$R \text{ compression} = 3 R \text{ cisaillement} + 3 ;$$

$$R \text{ traction} = 0,9 R \text{ cisaillement} - 1.$$

$\Delta$  étant la dureté.

Les dimensions des barreaux de cisaillement qu'il préconise sont barreau de  $8 \times 10$  millimètres ou de  $5 \times 5$  millimètres ou barreau cylindrique de 5,64 millimètres de diamètre.

Pour l'essai de compression un barreau cylindrique de  $16 \times 16$  millimètres.

D'après Portevin

$$R \text{ traction} = 0,2\Delta - 13 ;$$

$$R \text{ compression} = \frac{\Delta}{2} - 5.$$

## § 2. — ESSAIS DE DURETÉ.

L'essai par empreinte de bille — ou essai Brinell — détermine une grandeur qu'on appelle dureté ou chiffre de dureté et qui est très sensiblement proportionnelle, pour une même catégorie de métaux, à la résistance à la traction.

Le chiffre de dureté Brinell  $\Delta$  est le rapport de la charge utilisée pour enfoncer une bille d'acier dans le métal à la surface de la calotte sphérique de l'empreinte ainsi produite.

La bille d'acier employée a un diamètre de 10 millimètres. L'usure et la sphéricité de la bille doivent être vérifiées fréquemment. Elle est appuyée sur la surface du métal à essayer par un levier, un pis-

ton, un ressort, etc., disposés de façon à développer graduellement l'effort d'une façon parfaitement continue et sans produire aucun à-coup. Cette condition est très importante ; il importe, en outre, que l'appareil d'essai soit disposé de façon que la direction de l'effort soit bien normale à la surface de la pièce essayée.

La surface à essayer est dressée à la lime et de préférence, polie au papier d'émeri fin en prenant bien garde de ne produire aucun écrouissage superficiel.

L'effort maximum est pris égal à 3.000 kilogrammes pour l'acier, à 500 kilogrammes pour le cuivre et ses alliages.

On mesure deux diamètres rectangulaires, de préférence au moyen d'un microscope à oculaire micrométrique ou d'un appareil équivalent et on prend la moyenne des deux mesures.

L'essai Brinell est surtout utile pour vérifier que la dureté est régulière en différents points d'une pièce ou pour diverses pièces d'un même lot.

On peut aussi en déduire une valeur approchée de la résistance à la traction qui, pour une même catégorie de métaux, varie proportionnellement au chiffre de dureté Brinell, c'est-à-dire au rapport de la pression exercée sur la bille, à la surface de la calotte sphérique que forme l'empreinte.

Pour les aciers, essayés avec charge de 3.000 kilogrammes et bille de 10 millimètres de diamètre, la résistance à la traction est sensiblement égale au tiers du chiffre de dureté (efforts évalués en kilogrammes, surfaces évaluées en millimètres carrés). L'influence du temps pendant lequel est appliquée la charge étant très accentuée, il importe de ne comparer entre eux que des essais dans lesquels la durée d'action a été exactement la même. Quand on ne fait que des essais comparatifs aux différents points d'une même pièce ou sur différentes pièces, cette durée peut être quelconque (les Cahiers des charges de l'Artillerie la fixaient à dix secondes).

Quand on fixera un chiffre de dureté sans indiquer explicitement la durée d'application de la charge, cette durée sera égale à quinze secondes.

Le tarage des appareils d'essai peut être effectué avec des barreaux de métal spécialement préparés sur lesquels on effectue successivement des empreintes avec l'appareil à essayer et avec un appareil pris comme type ou avec des poids marqués en agissant pendant le même temps dans les deux cas.

**Méthode Rockwell.** — On mesure la profondeur de la pénétration d'une bille ou d'un cône en diamant sous l'action d'une charge constante.

Cette méthode est intéressante pour les métaux très durs, particulièrement pour apprécier la dureté des pièces cimentées et trempées.

**Méthode du pendule oscillant.** — Le pendule (Herbert) est cons-



titué par une masse en fonte en forme d'arc qui repose sur la surface dont on veut apprécier la dureté, au moyen d'une bille en acier. Le centre de gravité du pendule coïncide sensiblement avec le centre d'oscillation. On peut mesurer la durée des oscillations du pendule après l'avoir légèrement incliné lors de sa position d'équilibre; plus le métal est dur plus la durée des oscillations est grande: on peut encore mesurer l'amplitude des oscillations et dans ce cas, plus le métal est dur, plus grande est cette amplitude.

Cette méthode d'un emploi délicat est surtout une méthode de laboratoire qui est précieuse pour différencier les produits très durs, pour lesquels la méthode ordinaire à la bille n'est pas suffisamment précise.

**Méthode du scléroscope.** — On mesure la dureté par la hauteur du rebondissement d'un petit marteau qui tombe d'une hauteur déterminée sur la surface à essayer: plus le métal est dur, plus grande doit être la hauteur du rebondissement.

Les résultats dépendent de la masse du métal qui provoque le rebondissement et de l'état de la surface, c'est ce qui diminue l'intérêt de cette méthode dont les résultats sont facilement erronés.

### Barème des nombres de Brinell.

Bille de 10 millimètres, charge 3.000 kilogrammes.

D mm.	Δ	D mm.	Δ	D mm.	Δ	D mm.	Δ
2,00	946	3,05	402	4,05	223	5,05	140
2,05	898	3,10	380	4,10	217	5,10	137
2,10	857	3,15	375	4,15	212	5,15	134
2,15	817	3,20	364	4,20	207	5,20	131
2,20	782	3,25	351	4,25	200	5,25	128
2,25	744	3,30	340	4,30	196	5,30	126
2,30	713	3,35	332	4,35	192	5,35	124
2,35	683	3,40	321	4,40	187	5,40	121
2,40	652	3,45	311	4,45	183	5,45	118
2,45	627	3,50	302	4,50	179	5,50	116
2,50	600	3,55	293	4,55	174	5,55	114
2,55	578	3,60	286	4,60	170	5,60	112
2,60	555	3,65	277	4,65	166	5,65	108
2,65	532	3,70	269	4,70	163	5,70	107
2,70	512	3,75	262	4,75	159	5,75	105
2,75	495	3,80	255	4,80	156	5,80	103
2,80	477	3,85	248	4,85	153	5,85	101
2,85	460	3,90	241	4,90	149	5,90	99
2,90	440	3,95	235	4,95	146	5,95	97
2,95	430	4,00	228	5,00	143	6,00	95
3,00	418						

### § 3. — ESSAI DE FLEXION PAR CHOC SUR BARREAUX NON ENTAILLÉS.

**1° Appareils d'essai.** — Les moutons les plus employés pour les essais de choc sur éprouvettes correspondent à deux types : moutons de 18 kilogrammes pour barreau d'acier de  $30 \times 30$  de section; mouton de 12 kilogrammes pour barreau d'acier de  $20 \times 20$  de section et pour barreau de fonte.

Les moutons doivent être d'une seule pièce ou du moins formés de pièces très solidement assemblées. Ils doivent glisser sur des guides parfaitement dressés, lisses et verticaux, de façon à n'avoir qu'un frottement très minime.

Le déclic ne doit produire aucun mouvement latéral du mouton lors de sa mise en jeu.

On devra s'assurer fréquemment qu'il ne se produit pas d'absorption notable de force vive en dehors du choc proprement dit, par des essais de tarage. Le tarage peut être effectué en mesurant la flèche produite par un choc du mouton tombant d'une hauteur déterminée sur des barreaux de flexion spécialement préparés pour assurer la régularité de leur résistance (barreaux de tarage).

La panne devra être terminée par une partie cylindrique dont l'axe sera horizontal et situé dans le plan du guidage. Le rayon de cette partie cylindrique sera de 30 millimètres pour les essais sur acier, de 50 millimètres pour les essais sur fontes.

Les couteaux servant de support au barreau doivent très solidement être fixés à la chabotte, leurs arêtes doivent être parallèles au plan du guidage; leur plan doit être horizontal; elles doivent présenter un arrondi de 2 millimètres de rayon.

La chabotte doit avoir une masse au moins égale à dix fois celle du mouton et reposer sur un massif de maçonnerie de volume au moins égal à cinq fois celui de la chabotte.

Il est bon d'avoir un dispositif évitant que le mouton en rebondissant vienne frapper le barreau à plusieurs reprises et en des points différents si celui-ci s'est déplacé.

**2° Éprouvettes d'essais.** — Les éprouvettes prélevées et préparées avec les mêmes précautions que pour les essais de traction, auront, normalement comme dimensions,  $30 \times 30 \text{ mm.} \times 200$ . Elles seront placées sur couteaux espacés de 16 centimètres et essayées au mouton de 18 kilogrammes, tombant d'une hauteur de 2<sup>m</sup>,75.

Quand la pièce à essayer sera de trop faibles dimensions pour qu'on puisse y prélever les barreaux de  $30 \times 30$ , on pourra employer des barreaux de dimensions réduites proportionnellement.

Pour que les résultats des essais faits avec deux barreaux semblables soient comparables, avec le même nombre de coups de mouton, il faut, théoriquement, que les poids des moutons et les hauteurs de chute employées soient déterminés de façon que les forces vives correspondant à chaque coup de mouton soit proportionnelles aux volumes des barreaux, et, de plus, satisfassent à la condition suivante :

$$\frac{P}{P'} = \frac{\sqrt{H}}{\sqrt{H'}} = B,$$

P et P' étant les poids des moutons, H et H' les hauteurs de chute, B le rapport de similitude.

L'influence du poids du mouton étant peu considérable ainsi que celle de la hauteur de chute, dans les limites usuelles on pourra en pratique employer un des moutons existant en déterminant la hauteur de chute et le nombre de coups de façon que la force vive totale soit la même que si l'on se conformait rigoureusement aux conditions fixées par la formule ci-dessus.

Le barreau réduit, de  $20 \times 20 \times 150$  millimètres, essayés sur appuis écartés de 120 millimètres au mouton de 18 kilogrammes, tombant de 1<sup>m</sup>,10 de hauteur, correspond sensiblement aux conditions indiquées ci-dessus.

On mesure aussi l'angle suivant lequel s'est produite la rupture, en rapprochant les deux fragments et amenant au contact les parties qui se sont rompues en dernier lieu.

#### § 4. — ESSAIS DE FLEXION PAR CHOC SUR BARREAUX ENTAILLÉS.

L'essai de flexion par choc d'un barreau préalablement entaillé permet de mesurer le travail absorbé par la rupture, souvent appelé résilience et exprimé en kilogrammètres par centimètre carré de la section préparée par la rupture. Cette évaluation, tout empirique, ne permet pas l'application de la loi de similitude aux barreaux de diverses dimensions.

**1<sup>o</sup> Appareils d'essai.** — On peut employer le mouton ordinaire à chute verticale libre, en vérifiant au moyen d'un choc unique que le travail nécessaire à la rupture est supérieur à une valeur donnée, ou encore en comptant le nombre de coups nécessaire pour produire la rupture.

Le plus souvent, on emploie des appareils produisant sûrement la rupture en un seul coup et indiquant par divers dispositifs quelle



fraction de l'énergie disponible a été absorbée par la rupture. Les graduations doivent permettre les lectures à moins de 0,5 0/0 de l'énergie disponible.

Ces appareils doivent être vérifiés fréquemment et très soigneusement.

Le tarage peut en être effectué en mesurant le travail absorbé par la flexion sous un angle donné d'un barreau non entaillé.

2° **Éprouvettes d'essai.** — La loi de similitude n'étant pas applicable aux essais de résilience, il importe d'employer le type suivant.

Barreaux de  $10 \times 10 \times 55$  millimètres. Entaille à fond cylindrique de 1 millimètre de rayon et 5 millimètres de profondeur. L'entaille peut être effectuée soit à la fraise, soit au foret, soit par rabotage; mais on devra vérifier soigneusement dans tous les cas le rayon du fond de l'entaille et s'assurer qu'il n'existe pas de stries parallèles aux génératrices de l'entaille.

Il est en outre recommandé d'ajouter aux chiffres donnant la résilience la mesure de l'angle de rupture, déterminé en rapprochant les deux moitiés de l'éprouvette de façon à faire coïncider, aussi exactement que possible, les parties de la cassure provenant de la région opposée à l'entaille.

*Conditions d'essai.* — Le barreau reposera sur des appuis distants de 40 millimètres sur lesquels il devra être appliqué bien exactement avant de recevoir le choc. Les arrondis de ces appuis auront un rayon de 1 millimètre. Un dégagement conforme au croquis ci-contre permettra de réduire le frottement des extrémités et d'éviter le coincement du barreau.

Le couteau fixé au mouton aura une section triangulaire, l'angle au sommet étant de  $30^\circ$  au maximum; l'arrondi de l'arête d'impact aura un rayon de 1 millimètre.

Il est indispensable de vérifier très fréquemment avec un gabarit spécial l'écartement des appuis et de s'assurer que le couteau fixé au mouton est exactement au milieu de cette distance.

La position du barreau sur les supports doit être aussi très soigneusement vérifiée à chaque essai avec un gabarit spécial tenant compte de la position de l'entaille.

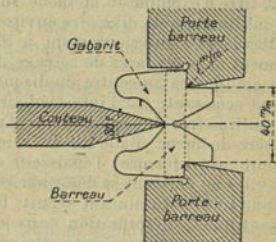


Fig. 33.

La vitesse au choc ne doit pas être inférieure à 5 mètres par seconde.

Sauf indications spéciales, la température doit être comprise entre 15° et 20°. L'influence de la température est beaucoup plus accentuée que dans les autres modes d'essai.

Les dimensions de l'éprouvette entaillée, indiquées, sont celles préconisées par la commission permanente de standardisation.

On trouve en France encore couramment utilisés d'autres types d'éprouvettes: l'éprouvette Frémont de  $8 \times 10 \times 38$  millimètres entaille carrée de  $1 \times 1$ ; l'éprouvette Charpy de  $10 \times 10 \times 35$  entaille cylindrique de 1<sup>mm</sup>,3 de diamètre, tangente à l'axe de l'éprouvette et débouchée par un trait de scie.

L'éprouvette Messenger de  $10 \times 10 \times 55$  millimètres entaille de  $2 \times 2$  millimètres à fond rond. On ne peut comparer que les résultats fournis par un même type d'éprouvettes.

### § 5. — ESSAIS D'EMBOUTISSAGE.

Est utilisé pour la réception des tôles minces, nous indiquons ci-dessous les prescriptions de la Commission permanente de standardisation pour l'essai des tôles d'aluminium.

Les essais d'emboutissage sont effectués à l'aide d'un dispositif susceptible de donner les charges et les flèches.

A titre d'exemple la méthode suivante est indiquée: Un disque de 90 millimètres de diamètre environ sera serré à bloc entre deux rondelles alésées intérieurement à 50 millimètres sans congé de raccordement avec les faces de serrage du disque. Ces faces seront striées. On appliquera au centre du disque, sans choc, une charge graduellement croissante par l'intermédiaire d'une bille en acier extra-dur de 20 millimètres de diamètre ou d'un cylindre terminé par une demi-sphère de même diamètre en acier extra-dur, jusqu'à rupture de la calotte ainsi formée; l'épaisseur des rondelles de serrage sera telle qu'elles ne puissent se déformer sensiblement sous la charge.

Sur tôle d'aluminium recuit, la calotte ne devra pas se rompre avant que la déformation dans le sens de l'application de la charge mesurée dans la concavité atteigne la valeur indiquée par le tableau ci-dessous.

Épaisseur en millimètres, .....	0,5	1	1,5	2
Flèches en millimètres .....	11	13	14	15

### § 6. — ESSAIS DE PLIAGE<sup>(1)</sup>.

Une bande de 250 millimètres de longueur minima, 40 millimètres de largeur et 20 millimètres d'épaisseur (ou d'épaisseur égale à celle du produit essayé si celle-ci est inférieure à 20 millimètres), subit un premier pliage sur un empreint dont les faces obliques forment entre elles un angle de 60°. On applique sur le milieu de la bande un coin ou dégorgeoir arrondi suivant un rayon au plus égal à l'épaisseur de la bande et sur lequel on fait agir une presse ou un pilon jusqu'à ce que la bande s'applique sur l'empreint. On enlève ensuite l'empreint et le coin et on achève le pliage en amenant les faces soit à se toucher (pliage à bloc), soit à une distance déterminée par une cale que l'on place entre elles.

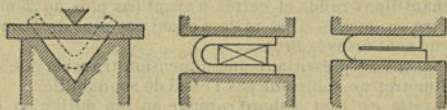


FIG. 34.

L'essai est considéré comme satisfaisant si la face extérieure ne présente aucune déchirure.

Cet essai peut être pratiqué soit à froid, soit à différentes températures. L'essai de forgeage pourra comporter deux pliages à bloc, l'un au rouge vif, l'autre au rouge sombre.

L'essai de pliage est souvent effectué sur des bandes préalablement trempées dans des conditions déterminées pour s'assurer que le métal ne durcit pas, par la trempe, d'une façon exagérée.

### § 7. — ESSAI DE TEXTURE<sup>(2)</sup>.

L'essai de texture consiste dans l'examen d'une cassure pratiquée à l'extrémité d'une barre choisie par l'agent réceptionnaire en vue de s'assurer s'il n'existe ni solution de continuité, ni inclusion de matières étrangères. La barre, entaillée par un procédé quelconque sur tout son pourtour, de manière à obtenir, dans la région centrale,

(1) Pour fers et aciers de construction, d'après la Commission de Standardisation.

(2) Pour fers et aciers de construction.



une section de rupture égale à environ la moitié de la section primitive, doit être rompue brusquement en porte-à-faux soit au marteau, soit à la presse.

Pour les barres de grosses dimensions, afin d'éviter les difficultés d'exécution de l'essai, la section de rupture sera limitée à 30 centimètres carrés.

### § 8. — ESSAI DE SOUDABILITÉ (1).

Cet essai consiste dans le pliage à froid d'une éprouvette préalablement soudée, puis trempée.

Si le produit à essayer présente des dimensions transversales supérieures à 25 millimètres, on prépare par usinage, forgeage ou laminage, une éprouvette de  $25 \times 25 \times 250$  millimètres.

Les échantillons ronds et carrés n'ayant pas plus de 25 millimètres de diamètre ou de côté et les plats n'ayant pas plus de 25 millimètres d'épaisseur sont essayés bruts.

Les échantillons présentant une dimension transversale inférieure à 15 millimètres ne subissent pas l'essai de soudabilité.

L'éprouvette est tout d'abord rompue en son milieu en deux parties, puis soudée et forgée. Les deux parties doivent être réunies bout à bout par une soudure dite par amorces et à chaude portée.

Chaque amorce, à forme convexe, inclinée à  $45^\circ$ , doit présenter une surface de soudure égale à deux fois environ la section droite primitive du barreau. La soudure est obtenue au moyen de deux chaudes, l'une chaude suante, l'autre, chaude de ressuée. L'éprouvette est ensuite convenablement parée.

Après réchauffage à une température comprise entre  $850$  et  $900^\circ$ , le barreau soudé est trempé dans de l'eau à une température comprise entre  $20$  et  $25^\circ$ .

Le barreau trempé subit alors l'épreuve de pliage à froid définie dans le *Recueil des méthodes d'essais mécaniques usuelles*. Le pliage est effectué sur le plat de la soudure.

Après l'essai, l'écartement des branches du barreau, rendues parallèles, doit être égal à leur diamètre ou épaisseur.

### § 9. — ESSAI DE THERMOÉLECTRICITÉ.

Cet essai est préconisé par Galibourg pour permettre l'identification rapide des métaux en usine. Il repose sur le principe suivant :

(1) Pour fers et aciers de construction.

Au point de contact de deux métaux de nature différente, se produit une force électromotrice variable avec les métaux et avec la température du point de contact. L'appareil se compose d'un récipient qui contient du mercure chauffé à une température constante, d'un métal étalon et d'une pince métallique qui permet de serrer le métal à étudier :

Les deux métaux sont plongés dans le mercure dont le rôle est d'établir le contact entre eux. On mesure la force électromotrice au moyen d'un galvanomètre et d'une résistance.

On pourra distinguer par ce procédé deux aciers de natures différentes et de même dureté, par exemple :

Un acier à 5 0/0 de Ni et un acier mi-dur ordinaire :

En contact avec de l'acier doux, la force électromotrice de l'acier à 5 0/0 de Ni est 1,35 à 1,7 m. v.

Celle de l'acier demi-dur dans les mêmes conditions est 0 mv.

Un acier à 2 0/0 de Ni donnant avec de l'acier doux une force électromotrice de 0,775 à 1 mv. d'un acier doux ordinaire donnant avec l'acier doux une force électromotrice de 0 mv.

Un acier mangano-siliceux à 2 0/0 de Si donnant avec de l'acier doux une force électromotrice de 1,4 à 1,6 mv. d'un acier dur ordinaire qui, dans les mêmes conditions, donne une force électromotrice nulle.

#### **Qualités types et caractéristiques des fers et aciers courants.**

— Les fers sont au nombre de quatre, caractérisés par leur résistance à la traction savoir 30, 32, 34 et 37 kilogrammes par millimètre carré.

Les aciers ont des caractéristiques plus ou moins rigoureuses suivant leurs conditions d'emploi.

Nous donnons dans le tableau ci-après les caractéristiques des aciers destinés aux approvisionnements courants ( $A_2 - 1$ ), celles des aciers destinés à être usinés à froid sans aucun traitement thermique ultérieur ( $A_2 - 2$ ); celles des aciers destinés à être traités après usinage, trempés par exemple ( $A_2 - 3$ ), enfin celles des aciers non trempants dits doux et extra-doux ( $A_2 - 5$ ).

REPERE DE STANDARDISATION..	A <sub>2</sub> -1		A <sub>2</sub> -2		A <sub>2</sub> -3		A <sub>2</sub> -5		
	Résistance	Allongement 0/0	Résistance minimum	Résistance maximum	Allongement 0/0	Résistance minimum	Résistance maximum	Allongement 0/0	
Caractéristiques .....	35 40 48 55 70	30 28 24 20 13	35 48 55 70 80 90 100	40 55 70 80 100 115	30 28 20 13 10 8 6	50 60 70 80 90 100 115	60 70 80 90 100 115	35 40 45	30 27
Correspondances des résistances et allongements intermédiaires .....	R + 2A = 95 Minimum A = 9 0/0		R ≤ 70 kilogs R + 2A = 95 kilogs R > 70 kilogs R + 6A = 140 kilogs		R ≤ 70 kilogs R + 2A = 95 kilogs R > 70 kilogs R + 6A = 140 kilogs				
L'éprouvette servant à vérifier les caractéristiques R et A sera.....	prélevée à froid		prélevée à froid		prélevée à froid		recuite pour traction		
à la température de.....	850-900°		sans traitement thermique		trempée à 20-25°		trempée pour pliage		



Nous indiquons également quelques-unes des prescriptions les plus caractéristiques de ces aciers rapportés aux mêmes repères —, tels que les chiffres à obtenir par les essais unifiés pour les chocs sur barreaux entaillés ou non, les pliages, ainsi que les tolérances sur longueurs ou diamètres.

**ACIERS A<sub>2</sub>-1. — Tolérances sur les dimensions.**

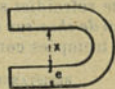
a) **Longueurs.** — Pour les barres demandées à longueurs fixes, il ne sera admis, quelles que soient ces longueurs, aucune tolérance en moins ; la tolérance en plus est limitée à 30 millimètres pour les barres de 5 mètres et au-dessous avec une majoration de 10 millimètres par mètre au delà de 5 mètres.

b) **Dimensions transversales.** — Les tolérances relatives aux dimensions transversales sont fixées par le tableau suivant :

Barres laminées.....	± 2 0/0, sans que la tolérance puisse dépasser 3 millimètres ni descendre au-dessous de 0 <sup>mm</sup> ,3.
Barres martelées (ronds, carrés et plats).....	± 3 0/0, sans que, pour les barres rondes, l'écart entre deux diamètres quelconques d'une même barre puisse dépasser 3 0/0.
Largets.....	+ 5 0/0. - 2 0/0.
Blooms, billettes.....	± 5 0/0.

*Essai de pliage.* — Les barreaux essayés après recuit doivent supporter, sans qu'il se produise de déchirure sur la face extérieure, ni de dédoubleure, les pliages définis par le tableau suivant :

RÉSISTANCE MINIMUM à l'essai de traction fixée par la commande	ÉCARTEMENT MAXIMUM des branches X
48 <sup>k</sup> R << 48 <sup>k</sup>	o (pliage à bloc)
48 <sup>k</sup> R >> 55 <sup>k</sup>	e
55 <sup>k</sup> R << 70 <sup>k</sup>	1 1/2 e
55 <sup>k</sup> R >> 70 <sup>k</sup>	2 1/2 e



ACIERS A<sub>2</sub>-1 et A<sub>2</sub>-2. — *Essai de choc sur barreau non entaillé.*

a) Les barreaux de 30 × 30 × 200 millimètres, placés sur des appuis écartés de 160 millimètres, doivent supporter sans se rompre quinze coups d'un mouton de 18 kilogrammes tombant d'une hauteur de 2<sup>m</sup>,75.

b) Les barreaux de 20 × 20 × 150 millimètres, placés sur des appuis écartés de 120 millimètres, doivent supporter sans se rompre quinze coups d'un mouton de 18 kilogrammes tombant d'une hauteur de 1<sup>m</sup>,10.

ACIERS A<sub>2</sub>-2. — *Essai de choc sur barreau entaillé.*

Pour chaque barreau essayé, le travail absorbé par la rupture, exprimé en kilogrammètres par centimètre carré de la section réduite par l'entaille (résilience), sera au moins égal à la valeur fixée par le tableau suivant, d'après la résistance minimum imposée à l'essai de traction.

RÉSISTANCE M MUM	RÉSILIENCE MINIMUM
De 35 à 39 kilogrammes.	10 kilogrammètres.
De 40 à 47 —	—
De 48 à 54 —	6 —
De 55 à 65 —	4 —
De 65 à 70 —	2 —

ACIERS A<sub>2</sub>-3. — *Traitement thermique des éprouvettes.*

Les éprouvettes de traction et de choc, après usinag dans les conditions prévues au paragraphe 1<sup>er</sup> de l'article 6, seront chauffées lentement dans un four, maintenues pendant quinze minutes à une température comprise entre 850 et 900°, pour la nuance d'acier de 50 à 70 kilogrammes, et de 825 à 875° pour l'acier de résistance supérieure à 70 kilogrammes, puis plongées immédiatement dans de l'eau à une température comprise entre 20 et 25°. Elles seront ensuite chauffées pendant quinze minutes dans un bain métallique ou salin maintenu à une température comprise entre 550 et 650°. Les éprouvettes seront ensuite refroidies soit à l'air libre, soit par immersion dans l'eau.

*Essai de choc sur barreau entaillé.* — Résultats à obtenir pour éprouvettes trempées comme ci-dessus.

RÉSISTANCE MINIMUM	RÉSILIENCE MINIMUM
De 50 à 55 kilogrammes.	6 kilogrammes.
De 55 à 65 —	4 —
De 65 à 70 —	2 —

*Essai de choc sur le barreau non entaillé.* — Résultats identiques à ceux des aciers A<sub>2</sub>-1 et A<sub>2</sub>-2.

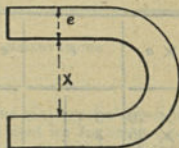
#### ACIERS DOUX ET EXTRA-DOUX A<sub>2</sub>-5.

*Traitement thermique des éprouvettes.* — a) Après usinage, les barreaux de traction seront chauffés dans un four à une température comprise entre 850 et 900°. Après avoir été maintenus pendant quinze minutes à cette température, ils seront soumis à un refroidissement lent à l'air libre.

b) Les barreaux de pliage seront également chauffés dans un four à une température comprise entre 850 et 900°. Après avoir été maintenus pendant quinze minutes à cette température, ils seront plongés dans de l'eau à une température comprise entre 20 et 25° jusqu'à complet refroidissement.

*Essai de pliage.* — Les barreaux trempés comme il est dit ci-dessus devront supporter, sans qu'il se produise aucune déchirure sur la face extérieure, ni dédoubleure, les pliages définis par le tableau suivant :

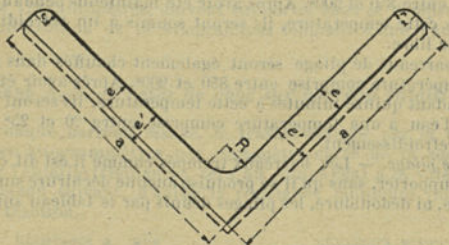
RÉSISTANCE minimum imposée par la commande	ÉCARTEMENT maximum des branches X
kilogr. 35	2 e
38	4 e





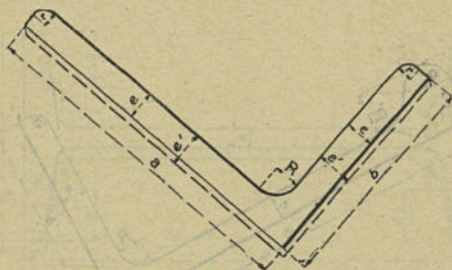
## Unification des profilés.

## I. — Cornières à ailes égales.



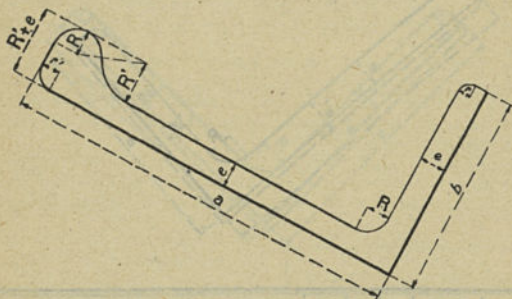
$a \times a$	$e$	$e'$	R	r	OBSERVATIONS
20 × 20	3		3	1,5	Les dimensions sont exprimées en millimètres.
25 × 25	3		3	1,5	
30 × 30	3,5	5	3,5	1,75	Les cornières dont les épaisseurs sont désignées par $e$ seront à angles vifs aux extrémités des ailes
35 × 35	3,5	5	3,5	1,75	
40 × 40	4	6	4	2	Les cornières dont les épaisseurs sont désignées par $e'$ pourront présenter, à ces mêmes extrémités, des chanfreins n'ayant pas plus de 2 mm. mesurés normalement aux faces
45 × 45	4,5	6	4,5	2,25	
50 × 50	5	7	5	2,5	L'emploi des épaisseurs ci-contre est tout particulièrement recommandé. Les épaisseurs intermédiaires pourront cependant être laminées sur demande, mais avec chanfrein s'il y a lieu.
55 × 55	5,5	7	5,5	2,75	
60 × 60	6	8	10	3	
70 × 70	7	9	11	3,5	
80 × 80	8	10	12	4	
90 × 90	9	11	13	4,5	
100 × 100	10	12	14	5	
110 × 110	11	13	15	5,5	
120 × 120	12	14	16	6	
130 × 130	13	15	17	6,5	
150 × 150	15	17	19	7,5	
170 × 170	17	19	21	8,5	
200 × 200	20	22	24	10	

## II. — Cornières à ailes inégales.



$a \times b$	$e$	$e'$	R	$r$	OBSERVATIONS
40 × 25	4		4	2	Les dimensions sont exprimées en mm. Les cornières dont les épaisseurs sont désignées par $e$ seront à angles vifs aux extrémités des ailes.
50 × 30	5		5	2,5	
60 × 40	5	7	5	2,5	
100 × 45	7	9	11	7	Les cornières dont les épaisseurs sont désignées par $e'$ pourront présenter à l'extrémité de la grande aile de largeur $a$ , un chanfrein n'ayant pas plus de 2 mm. mesuré normalement aux faces. La petite aile, de largeur $b$ , pourra avoir une épaisseur $e''$ inférieure à l'épaisseur $e'$ de la grande aile, et présenter à son extrémité un chanfrein inférieur à 2 mm.
70 × 50	6	8	6	3	
80 × 60	7	9	7	3,5	
90 × 70	8	10	8	4	
110 × 70	8	10	8	4	
100 × 80	9	11	9	4,5	
120 × 80	10	12	10	5	
110 × 90	9	11	9	4,5	
130 × 90	11	13	11	5,5	
140 × 90	11	13	11	5,5	
150 × 90	11	13	11	5,5	L'emploi des épaisseurs ci-contre est tout particulièrement recommandé. Les épaisseurs intermédiaires pourront cependant être laminées sur demande, mais avec chanfrein, s'il y a lieu.
170 × 90	11	13	11	5,5	
150 × 100	11	13	11	5,5	
170 × 100	11	13	11	5,5	
200 × 100	12	14	12	6	
230 × 100	13	15	13	6,5	

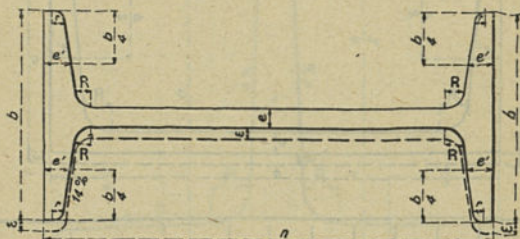
## III. — Cornières à boudin.



$a \times b$	$e$		R	$r$	$R'$	$r'$	OBSERVATIONS
100 × 80	9		9	4,5	16	6,5	Les dimensions sont exprimées en millimètres.
130 × 75	8,5	10,5	8,5	4,25	15	6,5	
140 × 75	9	11	9	4,5	16	6,5	Les profils seront à angle vifs sans chanfrein, à l'extrémité de la panne de largeur $b$ , pour les deux séries d'épaisseur $e$ .
160 × 75	9,5	11,5	9,5	4,75	16,5	7	
180 × 75	10	12	10	5	17,5	7,5	L'emploi des épaisseurs ci-contre est tout particulièrement recommandé. Les épaisseurs intermédiaires pourront cependant être laminées sur demande, mais avec chanfrein, s'il y a lieu.
200 × 75	11	13	11	5,5	19	8	
160 × 90	10	12	10	5	17,5	7,5	
180 × 90	11	13	11	5,5	19	8	
200 × 90	12	14	12	6	21	9	
220 × 90	13	15	13	6,5	23	10	
260 × 90	14	16	14	7	24,5	10,5	
300 × 90	15	17	15	7,5	26	11	
300 × 100	16	18	16	8	28	12	

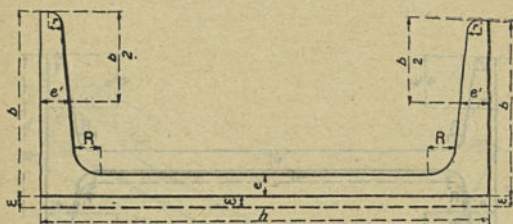


## IV. — Fers à I. Série normale.)



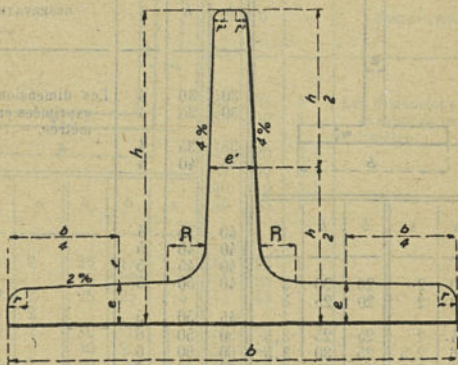
$h$	$b$	$e$	$e'$	$R$	$r$	OBSERVATIONS
80	42	3,9	5,9	3,9	2,3	Les dimensions sont exprimées en millimètres. L'épaisseur $e$ de l'âme corres- pond au profil minimum. Il sera loisible de laminier des profils plus forts, en donnant à l'âme une surépaisseur $\epsilon$ qui pourra atteindre 5 milli- mètres. Dans ce cas la lar- geur $b$ des ailes sera aug- mentée de la même quantité $\epsilon$ .
100	50	4,5	6,8	4,5	2,7	
120	58	5,1	7,7	5,1	3,1	
140	66	5,7	8,6	5,7	3,4	
160	74	6,3	9,5	6,3	3,8	
180	82	6,9	10,4	6,9	4,1	
200	90	7,5	11,3	7,5	4,5	
220	98	8,1	12,2	8,1	4,9	
240	106	8,7	13,1	8,7	5,2	
260	113	9,4	14,1	9,4	5,6	
280	119	10,1	15,2	10,1	6,1	
300	125	10,8	16,2	10,8	6,5	
320	131	11,5	17,3	11,5	6,9	
360	143	13,0	19,5	13,0	7,8	
400	155	14,4	21,6	14,4	8,6	
450	170	16,2	24,3	16,2	9,7	
500	185	18,0	27,0	18,0	10,8	
550	200	19,8	30,0	19,8	11,9	

## V. — Fers à L.



	$h$	$b$	$e$	$e'$	$R$	$r$	OBSERVATIONS
Série normale	80	45	6	8	8	4	Les dimensions sont exprimées en millimètres. L'inclinaison des faces intérieures des ailes sur les faces extérieures sera égale à : 8 0/0 pour les profils de la série normale et pour le brancard, 3 0/0 pour les profils de la série marquée.
	100	50	6	8,5	8,5	4,25	
	120	55	7	9	9	4,5	
	140	60	7	10	10	5	
	160	65	7,5	10,5	10,5	5,25	
	180	70	8	11	11	5,5	
	200	75	8,5	11,5	11,5	5,75	
	220	80	9	12,5	12,5	6,25	
Brancard.	250	100	10	16	16	8	L'épaisseur $e$ de l'âme correspond au profil minimum.
Série marquée	120	75	6,5	9	9	4,5	Il sera loisible de laminier des profils plus forts, en donnant à l'âme une surépaisseur $e$ qui pourra atteindre 5 millimètres. Dans ce cas, la largeur $b$ des ailes sera augmentée de la même quantité $e$ .
	130	75	7	9,5	9,5	4,75	
	140	75	7	9,5	9,5	4,75	
	160	75	7,5	10	10	5	
	180	75	7,5	10	10	5	
	200	75	8,5	11	11	5,5	
	160	90	8	11	11	5,5	
	180	90	8	11	11	5,5	
	200	90	8,5	11,5	11,5	5,75	
	220	90	9	12	12	6	
250	90	10	13	13	6,5		
300	90	11	14	14	7		

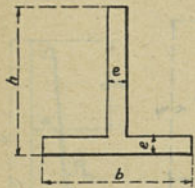
VI, — Fers à T.



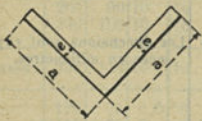
$b$	$h$	$e$	$e'$	$R$	$r$	$r'$	OBSERVATIONS
80	52	6	8	6	3	1,5	Les dimensions sont exprimées en millimètres.
100	67	8	10	8	4	2	
120	80	10	12	10	5	2,5	
140	95	12	14	12	6	3	
160	110	14	16	14	7	3,5	
180	120	16	18	16	8	4	



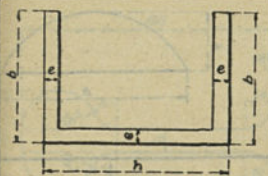
## VII. — Fers à T, à angles vifs.

						$b$	$h$	$e$	OBSERVATIONS
						30	30	4	Les dimensions sont exprimées en millimètres.
						30	35	4	
						35	35	4	
						35	40	4	
						40	25	4	
						40	40	5	
						40	45	5	
						40	50	5	
						45	50	5	
						50	50	6	
10	10	2	20	30	3	60	60	6	
12	12	2	20	25	3	70	60	6	
14	14	2	25	25	3,5				
16	16	2,5	25	30	3,5				
18	18	2,5	25	35	3,5				

## VIII. — Équerres, à ailes égales.

				$a \times a$	$e$	OBSERVATIONS			
						25 $\times$ 25	3	Les dimensions sont exprimées en millimètres.	
						30 $\times$ 30	3,5		
						35 $\times$ 35	4		
						40 $\times$ 40	4		
						45 $\times$ 45	4		
						50 $\times$ 50	5		
						10 $\times$ 10			
						12 $\times$ 12	2		
						14 $\times$ 14	2,5		
						16 $\times$ 16	2,5		
						18 $\times$ 18	2,5		
						20 $\times$ 20	3		


IX — Fers à  $\sqsubset$  à angles vifs.



$h$	$b$	$e$				OBSERVATIONS
35	35	3				Les dimensions sont exprimées en millimètres.
35	50	3				
40	20	3,5				
40	30	3,5				
40	40	3,5				
40	55	4				
45	25	4				
45	35	4				
45	45	4				
45	55	4				
50	30	4				
50	40	4				
50	50	4				
50	65	5				
60	30	5				
60	45	5				
60	60	5				

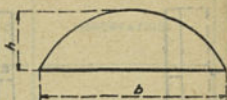
$h$	$b$	$e$	$h$	$b$	$e$
14	14	2	25	15	2,5
			25	20	2,5
16	12	2	25	25	2,5
16	16	2			
16	20	2	30	20	3
			30	25	3
18	13	2	30	30	3
18	18	2	30	40	3
18	25	2			
	15	2,5	35	20	3
	20	2,5	35	25	3
20	20	2,5	35	30	3

X. — Fers à  $\sqsubset$  spéciaux, à angles arrondis pour les mines.



$h$	$b$	$e$	$e'$	$R$	$r$	OBSERVATIONS
50	17	6	6,5	5	3	Les dimensions sont exprimées en millimètres.
55	18	7	7,5	6	3,5	

## XI. — Demi-ronds.



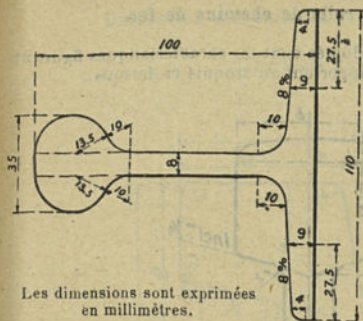
b	h						OBSERVATIONS
	6	7	8	9	10	18	
16	6	7	8				Les dimensions sont exprimées en millimètres.
18	6	7	8	9	10		
20	6	7	8	9	10		
22	6	8	10				
25	6	8	10	12			
28	8	10	12	14			
30	8	10	12	14			
32	10	12	14	16			
35	10	12	14	16			
38	10	12	14	16	18		
40	10	12	14	16	18	20	
45	10	12	14	16	18	20	
50	10	12	14	16	18	20	
55	12	14	16	18	20	23	
60	12	14	16	18	20	22	25

## XII. — Mains-courantes.

Diagram	b	h	R	r	OBSERVATIONS
<p>A diagram of a hand-shaped curve. The horizontal base is labeled 'b', the vertical height is labeled 'h', the radius of the upper arc is labeled 'R', and the radius of the lower arc is labeled 'r'.</p>	35	16	20	4,5	Les dimensions sont exprimées en millimètres.
	40	20	21,25	5	
	50	22	29	6	



XIII. — Fers à barrot.

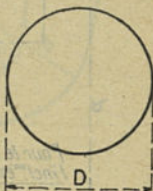


Les dimensions sont exprimées en millimètres.

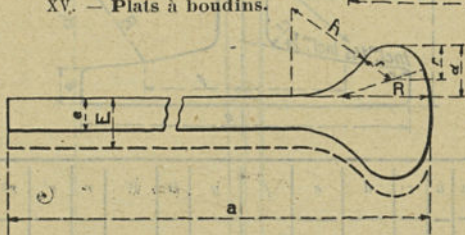
XIV. — Ronds.

Les diamètres  $D$  des barres rondes pour rivets, boulons et autres usages, varieront :

- 1° De demi-millimètre en demi-millimètre, entre 6 et 25 mm, ;
- 2° De millimètre en millimètre, entre 25 et 50 mm. ;
- 3° De 2 millimètres en 2 millimètres, entre 50 et 80 mm. ;
- 4° de 5 millimètres en 5 millimètres au-dessus de 80 mm.



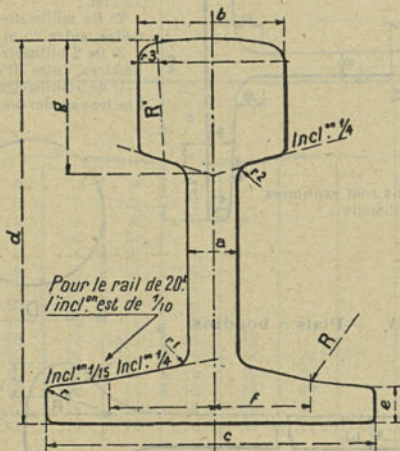
XV. — Plats à boudins.



$a$	$e$	$E$	$d$	$R$	$r$	OBSERVATIONS
125	5	à 8,5	9	14	5	Les dimensions sont exprimées en millimètres.
150	6	à 10	10	17	6	
200	8	à 12	12	22	8	
250	10	à 15	15	27	10	
300	11,5	à 18	18	32	12	

### Unification des rails de chemins de fer.

Six types de rails ont été adoptés dont les caractéristiques figurant dans le tableau ci-après se rapportent au croquis ci-dessous.



TYPE de rails	$a$	$b$	$c$	$d$	$e$	$f$	$g$	$R$	$R'$	$r$	$r'$	$r^2$	$r^3$
20 <sup>k</sup>	9	50	90	98,5	7,5	21,34	29		178,9	3	6	6	8
26 <sup>k</sup>	10	50	100	110	8	33,6	34	28	260	2	5,9	6,6	9
30 <sup>k</sup>	11	56	106	125,5	8,10	32	35			2,7	7,8	7,3	9
36 <sup>k</sup>	13	58	115	128	10	34,59	39,95	28	270	2	5,22	6,21	9
46 <sup>k</sup>	15	62	134	145	10,55	38	48,2	28	300	3	6,22	7,21	10
55 <sup>k</sup>	19	62	134	155	15	41,02	52,20	28	300	3	6,19	6,19	8





TYPES de rails	a	b	c	d	e	g	m	n	o	p	R	r	POIDS au mètre
1	11	101	160	180	6,7	16,7	45	11	29	16	23	5	51 <sup>kg</sup> ,98
2	11	108	160	180	6,7	16,7	42	11	32	23	32	5	54 <sup>kg</sup> ,72
3	10,5	101	145	175	6,7	15,7	40	11	35	15	26	6	47 <sup>kg</sup> ,775
4	10,5	113	145	175	6,7	15,7	40	11	41	21	35	5	50 <sup>kg</sup> ,115
5	10	95	140	145	6,5	15,25	33	11	35	14	25	5	41 <sup>kg</sup> ,34

TYPES de rails	r'	r <sup>2</sup>	r <sup>3</sup>	r <sup>4</sup>	r <sup>5</sup>	r <sup>6</sup>	r <sup>7</sup>	r <sup>8</sup>	s	t	r <sup>9</sup>	u	POIDS au mètre
1	12	12	4	5	11	3	5	8	16	40	11	40	51 <sup>kg</sup> ,98
2	12	12	4	5	11	3	5	8	16	40	11	40	54 <sup>kg</sup> ,72
3	11	11	5	5	11	3	5	8	15	40	11	35	47 <sup>kg</sup> ,775
4	11	11	5	5	11	3	5	8	15	40	20	35	50 <sup>kg</sup> ,115
5	10	8	4	5	11	3	5	8	14	38	15	34	41 <sup>kg</sup> ,34

**Classification commerciale des fers laminés.** — Cette classification facilite les transactions commerciales sur les fers.

Si en effet le prix de base P, d'une classe déterminée de fer, est fixé et si d'une part une majoration est prévue quand les fers passent d'une classe à une autre, la fixation du prix P détermine celui de tous les fers.

Le tableau ci-après donne la classification des fers et le nombre de majorations à prévoir pour passer d'une classe quelconque à une autre.

**Tableau de la classification des fers laminés.**

	COKE		BOIS
	N° 1	N° 2	
<i>Première classe</i>			
Carrés de 20 à 54 millimètres.....	P		
Ronds de 30 à 61 millimètres.....			
Plats de 27 à 39 sur 11 et plus.....			
Id. de 40 à 115 sur 9 à 40.....			
<i>Deuxième classe</i>			
Carrés de 16 à 19 millimètres.....	P + 1		
Id. de 55 à 60.....			
Ronds de 17 à 29.....			
Id. de 62 à 74.....			
Plats de 20 à 39 sur 8 et plus.....			
Id. de 40 à 81 sur 6 à 8 1/2.....			
Id. de 116 à 165 sur 12 à 40.....			
Verges et cottières.....			
<i>Troisième classe</i>			
Carrés de 11 à 15 millimètres.....	P + 2		
Id. de 70 à 81.....			
Ronds de 12 à 16.....			
Id. de 75 à 90.....			
Plats de 82 à 115 sur 6 1/2 à 8 1/2.....			
Id. de 116 à 165 sur 7 à 11 1/2.....			
Id. de 40 à 81 sur 4 1/2 à 5 1/2.....			
Id. de 20 à 39 sur 5 1/2 à 7 1/2.....			
Aplatis de 40 à 81 sur 4 1/2 et plus.....			
Demi-ronds de 27 à 50 sur toutes épaisseurs.....			

	COKE		BOIS
	N° 1	N° 2	
<i>Quatrième classe</i>			
Carrés de 5 à 10 millimètres 0/0.....			
Id. de 82 à 110.....			
Ronds de 6 à 11.....			
Id. de 91 à 110.....			
Plats de 82 à 115 sur 4 1/2 à 6.....			
Id. de 116 à 165 sur 5 1/2 à 6 1/2.....			
Bandelettes de 14 à 19 sur 4 1/2 et plus.....			
Id. de 20 à 39 sur 4 1/2 et 5.....			
Aplatis de 20 à 30 sur 3 1/2 et 4.....			
Demi-ronds de 14 à 26 sur toute épaisseur.....			
<i>Hors classe</i>			
Carrés } au-dessus de 110 millimètres.....			
Ronds } .....			
Plats au-dessus de 165 millimètres.....			
<i>Cercle et feuillards</i>			
De 20 à 80 sur 3 millimètres.....	P + 5		
De 20 à 80 sur 2 à 2 1/2.....	P + 6		
De 20 à 80 sur 1 1/2.....	P + 7		
De 18 à 54 sur 1.....	P + 8		

### § 10. — PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES MÉTAUX A CHAUD

La connaissance des propriétés mécaniques des métaux aux températures élevées, d'une importance considérable pour l'industrie, a provoqué de nombreuses recherches.

Un métal porté à une température suffisante et soumis à un effort devient visqueux, c'est-à-dire qu'il s'allonge, en fonction du temps, avec une vitesse constante.

La dimension des pièces mécaniques doit être telle que l'effort supporté par le métal qui les constitue ne soit qu'une fraction de la limite de viscosité ou de l'effort que peut supporter le métal sans se déformer à la température d'utilisation.

Cournot et IRIS LILLIAD Université Lille 1 limite de viscosité



de certains métaux; pour les aciers, ils ont trouvé les valeurs suivantes indiquées en kilogrammes par millimètre carré pour différentes températures.

	350°	400°	450°	500°	550°	600°	700°	800°	850°
Acier doux :									
C = 0,04 .....	31	20		8		4			
Acier 1/2 doux :									
C = 0,22 .....	32	21		9		4	1		
Acier rapide :									
C = 0,5, Cr = 1,4, W = 13,57 .....			49	30		14	7	2	
Alliage :									
Ni = 63, Cr = 14, Fe = 23 .....					42	32	17	7	3
Alliage :									
Cr, Si, Cr = 10,23, Si = 2,62 .....				60	45	30	8	1	

Pour le cuivre et ses alliages ils ont trouvé :

	15°	150°	200°	250°	300°	400°	500°
Cuivre .....	7,3	5,7	"	4,4	"	1,5	"
Laiton 80-20 .....	30,5	"	18,5	"	9,2	4,5	1,8
Laiton 67-33 .....	"	"	20	"	6,9	1,3	0,7
Laiton 60-40 sans plomb .....	"	"	12,5	"	4,7	0,7	"
Laiton 60-40 avec Pb = 1,5 .....	"	"	10,7	"	3,4	0,5	"
Alliage Cu = 90 Al = 10 .....	"	"	"	20,9	"	5,6	"

Dans le cas du nickel et de l'alpax, aluminium et duralumin.

	15°	100°	200°	300°	350°	500°	600°	700°
Nickel .....	"	"	"	"	"	16,7	9,3	3,4
Aluminium .....	5,6	2,7	0,7	"	"	"	"	"
Duralumin .....	"	16,7	9,3	2,8	0,9	"	"	"
Alpax .....	19	4,9	2,9	"	"	"	"	"

Guillet, Galibourg et Samsen ont fait une série de recherches pour déterminer la nature de l'acier qui convient le mieux à la fabrication des chaudières à haute pression, fonctionnant avec la vapeur à 450°. Nous résumons dans le tableau ci-dessous leurs résultats.

	Charge maximum supportée sans déformation permanente à 450° en kilogrammes par millimètre carré.
Acier extra doux C = 0,115.....	5,7
doux C = 0,22.....	6,77
demi-dur C = 0,42.....	8,5
coulé C = 0,28.....	9,05
<i>Aciers au nickel</i>	
C = 0,15, Ni = 5,46, trempé.....	10,23
C = 0,17, Ni = 5,20, recuit.....	10,23
C = 0,17, Ni = 4,95.....	15
<i>Aciers au nickel-chrome</i>	
C = 0,36, Ni = 4,58, Cr = 1,43.....	9
C = 0,50, Ni = 0,65, Cr = 1,19.....	11,5
C = 0,26, Ni = 2,54, Cr = 0,36.....	12
<i>Aciers au Ni-Cr-Mo</i>	
C = 0,33, Ni = 2,74, Cr = 0,73, Mo = 0,30.....	18,6
C = 0,30, Ni = 2,78, Cr = 0,75, Mo = 0,33, trempé à l'air et revenu.....	26,55
trempé à l'huile et revenu.....	29,00

Ces derniers essais ont montré la possibilité d'utiliser pour les constructions travaillant à 450° des aciers dont la résistance à la traction est, par rapport à celle des aciers doux ordinaires, dans le rapport de 1 à 5,2.

## Classification des aciers ordinaires.

NUANCE	TENEUR en carbone	CHARGE de rupture kgmm <sup>2</sup>	LIMITE élastique kgmm <sup>2</sup>	ALLOUMENTS 5 0/0	PRINCIPAUX EMPLOIS
Extra-doux...	0,05-0,15	32-38	20-24	34-38	Cémentation, rivets, clous, boulons, tôles de dynamo, tôle chaudière, tubes étirés ou soudés.
Doux.....	0,15-0,25	38-45	24-28	28-25	Acier de construction, tôle de navire, tôles de pont, rivets, boulons.
Demi-doux...	0,25-0,40	45-55	28-32	25-22	Arbres de transmission, colliers d'excentrique, crosses de piston, essieux, rivets à haute résistance, pistons, tiges de piston, boulons et vis, moulages.
Demi-durs...	0,40-0,60	55-65	32-38	22-18	Essieux, arbres de transmission, pièces de forge, essieux de locomotive, soes de charnue, coutellerie ordinaire.
Durs.....	0,60-0,70	65-75	38-45	18-14	Bandages, bouteilles à gaz, rails, ressorts, matrices, marteaux, coutellerie, barres à mines, pièces d'armes, moulages.
Très durs...	0,70-0,80	75-85	45-50	14-8	Limes, scies, bouterolles, lames de cisailo, dents de broyeur, coutellerie fine.
Extra-durs...	0,80-1,10	85-100	50-55	5-8	Outils, Broches de filature, fils à câble à haute résistance.



## VII. — DIAGRAMMES D'ÉQUILIBRE

Sous une pression déterminée, les métaux purs et leurs combinaisons fondent à une température constante : les alliages métalliques ne se comportent généralement pas de la même façon, leur solidification se produit à partir d'une certaine température et n'est complète qu'à une température plus basse.

On trace dans le cas d'alliages de deux métaux un diagramme en portant en abscisse les concentrations et en ordonnée les températures de commencement et de fin de solidification des différents alliages. Le *liquidus* est la courbe qui joint les températures de commencement de solidification. Le *solidus* celle qui joint les températures de fin de solidification.

Ces deux courbes ont au moins deux points communs : les points de solidification des deux métaux.

**Différentes formes des diagrammes d'équilibres binaires.** —

1° Les métaux sont entièrement miscibles à l'état liquide et le sont aussi à l'état solide.

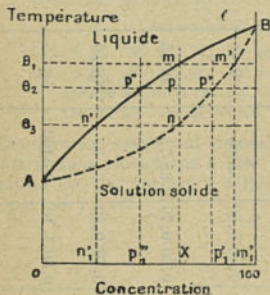


FIG. 35.

Le liquidus est alors formé d'une seule branche de courbe qui joint les points de fusion des deux métaux, de même, le solidus.

Le diagramme représenté figure 35 correspond à ce cas : un alliage de concentration moyenne OX en métal A commence à se solidifier à la température  $\theta_1$ . La concentration du premier germe cristallin qui apparaît est l'abscisse  $om'_1$  du point de rencontre de l'horizontale  $\theta_1$  avec le solidus. La température de fin de solidification est  $\theta_3$  et la concentration des dernières gouttes liquides est  $on'_1$  abscisse du point de rencontre de l'horizontale  $\theta_3$  avec le liquidus.

La température de fin de solidification est  $\theta_3$  et la concentration des dernières gouttes liquides est  $on'_1$  abscisse du point de rencontre de l'horizontale  $\theta_3$  avec le liquidus.

A une température  $\theta_2$  intermédiaire entre  $\theta_1$  et  $\theta_3$  les concentrations des phases liquide et solide en équilibre sont  $op'_1$  et  $op'_1$  : la proportion de chaque phase étant définie par le rapport  $\frac{\text{solide}}{\text{liquide}} = \frac{pp'}{pp'}$ .

La composition de la phase solide doit se modifier constamment au cours du refroidissement, par diffusion des éléments : généralement la vitesse de diffusion n'est pas suffisamment grande pour que la phase solide soit homogène; un recuit à température correcte, pendant un temps suffisant, permet d'obtenir l'homogénéité du solide.

**Variantes de ce diagramme.** — Le liquidus présente un minimum : le solidus passe par ce minimum et les deux courbes ont même tangente en ce point; c'est le cas de la figure 36.

1° Le liquidus passe par un maximum : le solidus passe aussi par ce maximum, les deux courbes ayant même tangente, ce cas est peu fréquent.

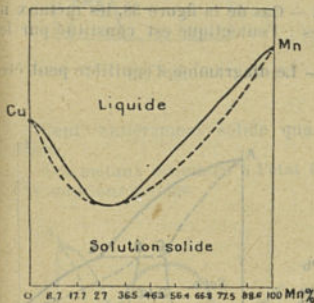


FIG. 36.

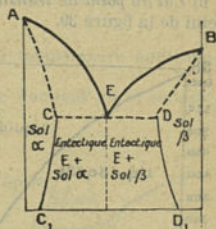


FIG. 37.

2° Les métaux miscibles à l'état liquide ne sont que partiellement miscibles à l'état solide.

a) *Cas de l'eutectique.* — Le diagramme de la figure 37 se rapporte à ce cas, il y a dépôt d'une solution solide  $\alpha$  le long de la branche du liquidus AE et de la solution  $\beta$  le long de la branche du liquidus BE.

Le point E est le point eutectique, c'est de tous les alliages que peuvent donner les métaux A et B, celui dont le point de fusion est le plus bas.

Le solidus est ACEDB dont la partie CED est horizontale à la température ordinaire. Pour toutes les concentrations en métal A

comprises entre  $OC_1$  et  $OD_1$ , les alliages sont formés de deux constituants, qui sont les solutions solides  $\alpha$  et  $\beta$ .

L'eutectique est formé par la réunion des deux solutions solides  $\alpha$  et  $\beta$  avec les concentrations respectives  $OC_1$  et  $OD_1$  en éléments très fins accolés qui apparaissent au microscope généralement sous forme de lamelles alternées. Un alliage de concentration moyenne E est formé uniquement d'eutectique; pour d'autres concentrations de ce même domaine du diagramme, l'alliage est constitué par l'eutectique et par l'une des deux solutions solides  $\alpha$  ou  $\beta$  suivant que son point figuratif est à gauche ou à droite de l'abscisse du point eutectique. Il n'y a que deux phases cependant. Au-dessous de la température eutectique, les lignes de séparation des domaines à deux phases et à une phase ne sont généralement pas confondues avec les verticales abaissées des extrémités de l'horizontale CD sur l'axe des concentrations.

**Variante de ce diagramme.** — Cas de la figure 38, les métaux ne forment pas de solutions solides : l'eutectique est constitué par les métaux eux-mêmes.

b) *Cas du point de transition.* — Le diagramme d'équilibre peut être celui de la figure 39.

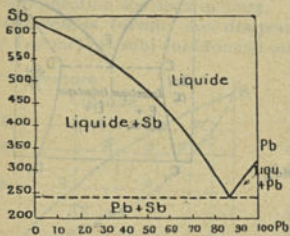


FIG. 38.

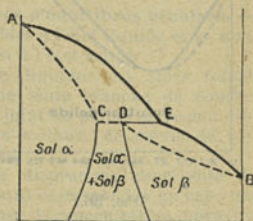


FIG. 39.

Le liquidus est composé de deux branches de courbes AE et EB qui sont situées de part et d'autre de l'horizontale de E.

La solution solide  $\alpha$  se dépose le long de la branche AE et la solution solide  $\beta$  le long de EB : les branches correspondantes du solidus sont AC et DB et l'horizontale CD fait partie du solidus.

Le diagramme est complété par deux lignes partant de C et de D qui limitent les domaines à une phase  $\alpha$  ou  $\beta$  du domaine où les deux phases  $\alpha$  et  $\beta$  coexistent ensemble.



Une autre forme de diagramme à point de transition est celle de la figure 40. Si l'on étudie la solidification d'un alliage de concentration OX comprise entre  $OC_1$  et  $OD_1$  on voit qu'il se solidifie entièrement puis redevient liquide quand la température s'abaisse et enfin

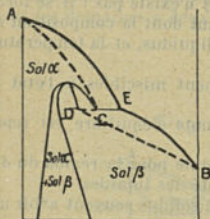


FIG. 40.

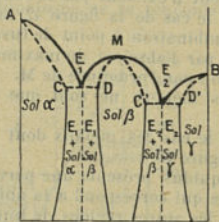


FIG. 41.

redevient entièrement solide quand la température continue à baisser.

3° Les métaux miscibles à l'état liquide donnent en se solidifiant trois solutions solides.

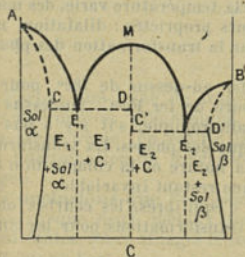


FIG. 42.

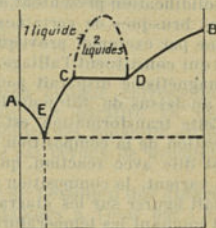


FIG. 43.

Le diagramme thermique peut être soit celui représenté figure 41, soit figure 42.

Dans le cas de la figure 41 le solidus est tangent au liquidus en son

maximum M : suivant la branche  $AE_1$  du liquidus se dépose la solution solide  $\alpha$  ; suivant  $E_1ME_2$  la solution solide  $\beta$  et suivant  $E_2B$  la solution solide  $\gamma$ .  $E_1$  et  $E_2$  sont deux eutectiques.

Un cas particulier est celui où les deux solutions ou l'une d'elles seulement n'existent pas et sont remplacées par les métaux A et B.

Dans le cas de la figure 42 la solution  $\beta$  n'existe pas : il se forme une combinaison à point de fusion constant dont la composition est définie par l'abscisse du maximum M du liquidus, et la température de fusion par l'ordonnée de M.

4° Les métaux ne sont que partiellement miscibles à l'état liquide.

C'est le cas des métaux dont le diagramme d'équilibre est représenté figure 43.

Le liquidus présente une partie horizontale pour la région du diagramme qui correspond à la non-miscibilité des liquides.

Dans les autres régions, le liquidus et le solidus peuvent avoir une des formes indiquées précédemment.

On trouve de semblables diagrammes avec les alliages Cu-Pb, Ni-Pb, Zn-Pb.

5° Les métaux ne sont pas miscibles à l'état liquide.

Le liquidus est une horizontale correspondant à la température de fusion du moins fusible des métaux et le solidus à celle du plus fusible des métaux.

C'est le cas de Al-Pb, Al-Na, Fe-Pb, Ag-Fe.

**Transformations dans les alliages solides.** — Certains alliages après solidification présentent, quand la température varie, des modifications brusques de certaines de leurs propriétés : dilatation, magnétisme par exemple, provoquées par la transformation des phases solides qui constituent l'alliage.

Le magnétisme disparaît pour le fer au-dessus de 769°, pour le nickel au-dessus de 320° pour le carbure de fer  $Fe_3C$ , au-dessus de 210°. Cette transformation est dite allotropique, s'il n'y a pas de modification de la composition chimique des phases. La transformation est dite avec réaction, quand, la nature et la composition des phases varient, la composition moyenne restant invariable.

On fait figurer sur les diagrammes d'équilibres, les courbes obtenues et joignant les températures de transformations pour les différentes concentrations.

Les courbes ainsi obtenues peuvent présenter des formes identiques à celles indiquées pour le liquidus et le solidus : on retrouve la forme avec rebroussement rappelant le diagramme avec eutectique, terme que l'on remplace par celui d'*eutectoïde*.

**Règles de lectures d'un diagramme binaire.** — Les différentes lignes divisent le diagramme en domaines.

1° Dans chaque domaine, il peut y avoir une ou deux phases ;

2° Quand on traverse une ligne oblique, le nombre de phases augmente ou diminue d'une unité ;

3° Les domaines limités à une horizontale contiennent deux phases et dans trois domaines limités à une même horizontale, il ne peut y avoir que trois phases associées 2 à 2 ;

4° Les métaux purs ou les combinaisons ne se rencontrent que dans les domaines à deux phases.

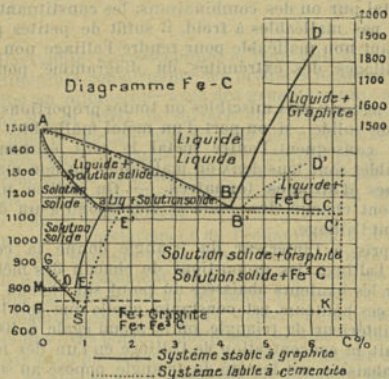


FIG. 44.

Parfois une ligne de transformation oblique correspond à une transformation allotropique, ce qui fait paraître en défaut la deuxième règle; en réalité la sensibilité des appareils utilisés dans la détermination du diagramme n'a pas permis de dédoubler cette ligne.

**Conclusions que l'on peut tirer de l'examen des diagrammes.**

— Lorsque deux métaux sont juxtaposés à l'état pur : s'ils sont malléables, leurs alliages le sont : s'ils ne sont pas malléables, aucun alliage ne l'est.

Si un métal seul est malléable, l'alliage eutectique sera malléable ou non suivant que la composition le rapproche plus de l'un ou de l'autre.

Les alliages formés d'un métal non malléable et d'un eutectique malléable ne sont malléables que si le métal est en proportion très faible



Lorsque les deux métaux forment des solutions solides aux extrémités du diagramme, chacune des solutions se comporte comme le métal auquel elle se relie.

S'il n'existe pas de combinaison ou de solution solide autre que les deux extrêmes, on raisonnera comme dans le cas précédent pour les alliages de concentrations intermédiaires.

Lorsque les métaux forment des solutions solides qui ne se relient pas à un métal pur ou des combinaisons, les constituants n'en sont généralement pas malléables à froid, il suffit de petites proportions d'un constituant non malléable pour rendre l'alliage non malléable; seuls les alliages des extrémités du diagramme pourront être malléables.

Lorsque les métaux sont miscibles ou toutes proportions, il n'existe qu'une solution solide : si on part d'un métal malléable, la solution solide et par conséquent l'autre métal le sont également. Deux métaux miscibles sont tous deux ou malléables ou non malléables.

**Diagrammes d'alliages ternaires.** — On utilise un triangle équilatéral dont chacun des sommets correspond à un des métaux qui constituent l'alliage.

Un point pris à l'intérieur du triangle donne la composition chimique de l'alliage, les proportions de chacun des métaux étant indiquées par les hauteurs abaissées du point sur chacun des côtés : la somme de ces hauteurs est constante quelle que soit la position du point à l'intérieur du triangle, on la prend égale à 100. La hauteur qui définit la concentration de l'alliage en l'un des métaux est celle qui est abaissée sur le côté du triangle opposé au sommet qui figure le métal.

On porte sur des verticales au plan du papier pour différentes compositions, les températures de commencement et de fin de solidification; on peut ainsi déterminer en joignant ces points des surfaces liquidus et solidus. La détermination de ces diagrammes est difficile; on en trouve peu et généralement on se contente de représenter la projection sur le plan du papier de lignes isothermes de la surface du liquidus.

## VIII. — MÉTALLOGRAPHIE MICROSCOPIQUE

La métallographie microscopique a pour but de mettre en évidence, les différents constituants des produits métallurgiques.

On examine au microscope avec des grossissements qui atteignent couramment 500 et 1.200, la surface de l'échantillon, polie d'une façon telle que la surface n'apparaisse pas rayée sous les grossissements utilisés, puis attaquée par des réactifs progressifs, choisis pour différencier les constituants : les uns n'étant pas attaqués restent polis, les autres partiellement dissous ou attaqués apparaissent en noir ou sont colorés.

**Polissage.** — Le prélèvement de l'échantillon doit être fait avec soin pour ne pas modifier l'état sous lequel se trouve réellement le métal, on le polit en commençant par un dégrossissage sur meule en carborundum ou en émeri, on refroidit pendant ce dégrossissage ; on le polit ensuite avec des papiers d'émeri et de potée d'émeri, de plus en plus fins : ces papiers sont placés sur une surface plane dure, une glace par exemple et on polit sur chaque papier dans le même sens jusqu'à ce que les raies produites par le papier précédent soient effacées ; quand on passe d'un papier à un autre, on change le sens du polissage de 90°.

La grosseur de grains d'émeri ainsi utilisés correspond à la potée 000, on termine ensuite le polissage sur une meule de feutre sur laquelle on pulvérise de l'eau contenant de l'alumine en suspension.

Pour obtenir des grains d'alumine de grosseur déterminée, on met en suspension 100 grammes d'alumine calcinée dans 2 litres d'eau, on laisse reposer un quart d'heure et on siphonne le liquide qui servira au polissage des aciers.

Ce même liquide, après un repos de une à deux heures, tiendra en suspension de l'alumine qui pourra servir au polissage du cuivre, bronze, laiton, aluminium.

La surface polie et attaquée est examinée par réflexion au moyen d'un microscope qui permet de l'éclairer d'une manière sensiblement normale.

Le réactif creuse cette surface aux endroits où se trouve le constituant qu'il peut attaquer : ces points ne réfléchissent plus la lumière

et apparaissent en noir dans le microscope. Pour un alliage qui n'est formé que d'un constituant, ce qui est le cas d'une solution solide ou pour un métal pur, le réactif commence d'attaquer la surface polie aux joints des grains ; une attaque plus prolongée permet de colorer diversement la surface des différents grains parce que ces grains n'ayant pas la même orientation dans l'échantillon, le plan de polissage les coupe suivant des sections qui ne sont pas orientées de la même façon pour chacun d'eux et pour cette raison s'attaquent différemment par le même réactif.

Il est nécessaire d'examiner la surface polie avant de l'attaquer ; on voit ainsi les soufflures, les inclusions, oxydes et scories, le graphite dans la fonte, l'oxydure de cuivre qui apparaît en bleu dans le cuivre, l'oxyde d'étain dans le bronze, les globules de plomb dans le laiton.

**Principaux réactifs.** — Pour aciers et fontes.

Acide picrique = 4 grammes alcool éthylique = 100 centimètres cubes

Acide azotique = 4 grammes alcool éthylique = 100 centimètres cubes

Acide méta-nitro benzo sulfonique = 4 grammes alcool éthylique = 100 centimètres cubes

Acide picrique en solution saturée dans l'alcool éthylique

Après attaque par un de ces réactifs, la *perlite* qui est l'eutectode  $Fe_2 - Fe_3C$  apparaît en noir et peut être résolue en lamelles alternées de ferrite et cémentite, sous un grossissement de 250 environ.

La *ferrite*  $Fe_2$  n'est attaquée que lentement, les joints des grains sont d'abord creusés, puis les différents grains se colorent différemment.

La *cémentite* =  $Fe_3C$  n'est pas attaquée.

L'*austénite*, constituant d'hypertrempe, qui est la solution solide  $Fe_2 - C$  stable à chaud, maintenue en état hors d'équilibre à froid par la trempe, est attaquée comme la ferrite.

La *martensite* constituant de trempe normale, qui est une solution hors d'équilibre de carbone dans le fer  $\alpha$ , s'attaque lentement avec mise en évidence d'une structure en aiguilles.

La *troostite* et la *sorbite*, qui sont le constituant de trempe douce pour la première et de revenu pour la deuxième, sont attaquées rapidement et apparaissent en noir, mais ne sont pas résolubles au microscope comme la *perlite*.

Acide picrique = 2 grammes dissous dans 100 centimètres cubes d'eau : on ajoute à chaud : soude à 36 B = 25 grammes.

On attaque l'échantillon par le réactif bouillant.

La cémentite est colorée en noir, la ferrite n'est pas attaquée.

Ce réactif permet de distinguer aussi les sulfures des oxydes, les sulfures seuls sont attaqués.

Acide chromique = 2 grammes acide sulfurique à 66 B = 25 centi-



mètres cubes attaque à chaud des carbures complexes des aciers à coupe rapide.

Courant d'hydrogène sur échantillon chauffé au rouge attaque les inclusions d'oxyde de fer FeO.

Acide oxalique = 2 grammes, eau = 100 grammes permet de différencier MnS et FeS : le sulfure de manganèse est dissous, dans le cas de FeS ou du mélange des deux sulfures l'attaque donne une teinte rose.

**Réactifs pour cuivre et alliages de cuivre.** — Perchlorure de fer = 19 grammes, acide chlorhydrique à 22° B = 6 centimètres cubes = 100 centimètres cubes pour laiton à 67 0/0 de cuivre.

Perchlorure de fer = 5 grammes, acide chlorhydrique = 50 centimètres cubes, eau = 100 centimètres cubes pour laiton à plus forte teneur en cuivre.

Perchlorure de fer = 34 grammes, acide chlorhydrique = 250 centimètres cubes, alcool à 95° = 750 centimètres cubes.

Oxyde de cuivre ammoniacal, obtenu en précipitant par l'ammoniaque une dissolution d'un sel de cuivre et en ajoutant un léger excès d'ammoniaque, jusqu'à redissolution du précipité.

Après attaque par ces réactifs, le constituant  $\beta$  des laitons apparaît en noir, il n'est pas résoluble en lamelles.

Le constituant  $\beta$  des bronzes d'aluminium apparaît en noir, il est résoluble.

Dans les laitons, les différents grains de la solution  $\alpha$  sont mis en évidence, on observe quelquefois, quand le laiton renferme les constituants  $\alpha$  et  $\beta$ , le  $\beta$  d'un grain moins coloré que l' $\alpha$  d'un autre, mais dans un même grain  $\beta$  est toujours plus coloré que  $\alpha$ .

Dans les bronzes, les réactifs mettent en évidence l'hétérogénéité de la solution  $\alpha$  en faisant apparaître les dendrites.

Le constituant  $\delta$  apparaît en blanc bleuté.

L'eutectoïde  $\alpha + \delta$  est résoluble au microscope, il est entouré d'un liseré de  $\delta$ .

Le constituant  $\delta$  est coloré en noir par la solution de picrate de soude indiquée pour les aciers.

**Réactif pour aluminium et ses alliages.** — Sulfate ferrique 5 à 10 grammes, eau 100 centimètres cubes, colore CuAl<sup>2</sup> en brun et FeAl<sup>3</sup> en gris clair.

Acide fluorhydrique = 10 centimètres cubes, eau = 100 centimètres cubes, met en évidence les grains de l'aluminium.

On enlève la couche noire qui recouvre le métal après cette attaque avec de l'acide azotique.

Acide fluorhydrique = 1 centimètre cube, eau = 100 centimètres cubes, FeAl<sup>3</sup> est coloré en brun clair, MnAl<sup>3</sup> en brun foncé, Mg<sup>2</sup>Si en gris violacé, CuAl<sup>2</sup> n'est pas coloré.

NO<sup>3</sup>H = 4 centimètres cubes, alcool = 100 pour alliages Al — Mg, Al<sup>3</sup>Mg<sup>4</sup> coloré en brun.

Acide nitrique = 20 grammes, eau = 100 centimètres cubes, a chaud  $\text{CuAl}^3$  coloré en brun foncé.

Soude = 5 à 20 grammes, eau = 100 centimètres cubes, met en évidence les grains de l'aluminium: on enlève le dépôt noir qui se forme sur la surface, avec une solution concentrée d'acide chromique.

$\text{CuAl}^2$  coloré en brun,  $\text{FeAl}^3$  en gris.

**Réactifs pour autres métaux.** — Bichromate de potassium = 2 grammes, acide azotique = 50 centimètres cubes; on prend 1 centimètre cube de cette solution pour 200 centimètres cubes d'eau.

Met en évidence les grains du zinc.

$\text{NiO}^3\text{H}$  pur, ou à 75 0/0 pour attaque du nickel.

L'oxyde  $\text{NiO}$  forme avec le nickel un eutectique contenant 4,1 0/0 de  $\text{NiO}$  dont le point de fusion est de 1.438°.

Le soufre donne une combinaison  $\text{Ni}_2\text{S}_3$  qui forme avec le nickel un eutectique contenant 79,6 0/0 de  $\text{Ni}_2\text{S}_3$ , soit 21 0/0 de soufre.

La solubilité de  $\text{Ni}_2\text{S}_3$  dans le nickel est très faible et le microscope permet après recuit de déceler de très faibles traces de soufre par une pellicule jaunâtre de  $\text{Ni}_2\text{S}_3$  qui se forme entre les cristaux.

Le sulfure de manganèse se dépose en globules entre les grains; le sulfure de magnésium se dépose en grains polygonaux à l'intérieur des cristaux de nickel.

## IX. — MACROGRAPHIE

La macrographie a pour but de déceler l'hétérogénéité chimique des produits métallurgiques et de mettre en vue leur structure.

On examine à l'œil nu ou à très faible grossissement la surface polie et attaquée des échantillons.

Le polissage est plus sommaire que dans le cas de la micrographie on arrête le polissage après passage au papier émeri 0000.

Il est essentiel pendant la préparation de la surface de ne pas l'écrouer irrégulièrement et de s'assurer avant l'attaque de cette surface par les réactifs, qu'elle est bien dégraissée.

**Réactifs d'attaque.** — Acide chlorhydrique pur.

Iodé = 10 grammes, iodure de potassium = 20 grammes, eau = 100 centimètres cubes.

Ces réactifs agissent en quelques minutes :

Acide sulfurique = 20 centimètres, eau = 100 centimètres, réactif lent, plusieurs heures à plusieurs jours.

Chlorure de cuivre ammoniacal = 120 grammes, HCl = 50 centimètres cubes, eau = 1.000 centimètres cubes.

Avec ces réactifs les parties impures sont les plus attaquées.

Pour déceler les régions sulfureuses, on applique contre la surface polie, pendant quelques minutes, un papier photographique au bromure d'argent, imbibé d'une solution aqueuse à 3 0/0 d'acide sulfurique. Au contact de l'acide, les parties sulfureuses dégagent de l'hydrogène sulfuré qui noircit le bromure d'argent ; on lave et on fixe à l'hyposulfite.

Portevin utilise ce procédé pour l'examen des cassures des pièces : il remplace le papier photographique par une couche épaisse de gélatine imprégnée de bromure d'argent, il obtient une empreinte de la cassure dans la gélatine avec des colorations noires dans les parties qui ont été en contact avec les régions sulfureuses.

Réactif Stead-Le Chatelier pour les aciers ; alcool éthylique à 95° = 100 centimètres cubes, eau = 10 centimètres cubes, HCl concentré = 2 centimètres cubes,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  = 1 gramme, acide picrique = 0<sup>gr</sup>,5.

Il se forme sur le métal un dépôt de cuivre, ce sont les parties les plus pures qui se cuivrent les premières : l'oxyde de fer et le phosphore en solution dans le fer retardent le dépôt de cuivre.



On peut après dépôt polir légèrement la surface cuivrée pour rendre la macrographie plus apparente, ou bien dissoudre le dépôt dans l'ammoniaque et, dans ce dernier cas, ce sont les parties primitivement cuivrées, donc pures, qui apparaissent en noir.

Galibourg et Ballay préconisent l'emploi de ce réactif pour apprécier la profondeur de cémentation des témoins de cémentation trempés : le constituant martensite se cuivre très lentement, la cassure du témoin cémenté et trempé ne se cuivre que dans les parties non cémentées.

Ce même réactif permet aussi d'apprécier l'hétérogénéité de trempe, parce que le constituant de trempe douce se cuivre plus facilement que la martensite.

**Réactif de Fry.** —  $HCl = 120$  centimètres cubes,  $H_2O = 100$  centimètres cubes chlorure cuivreux cristallisé = 90 grammes. Dans le cas des aciers ordinaires dont la teneur en C est inférieure à 0,2, ce réactif permet de déceler les endroits qui ont subi des efforts supérieurs à la limite élastique. Ces endroits noircissent d'une façon plus intense que les autres parties de la pièce qui ont supporté des fatigues moindres. On immerge la surface polie dans le réactif, et quand l'effet cherché est obtenu, il ne faut pas laver à l'eau, car la surface de l'échantillon se recouvrirait d'une couche de cuivre, mais laver à l'alcool.

Il faut en outre, pour que les lignes de glissement soient mises en évidence, qu'il s'écoule un certain temps, assez long, entre le moment de la déformation et celui de l'attaque par le réactif : on obtient un vieillissement artificiel par un chauffage à  $200^\circ$  pendant quelques minutes, de l'échantillon, dans un bain d'huile par exemple.

**Résultats fournis par la macrographie.** — L'essai de macrographie permet de rechercher la retassure dans les pièces examinées : il guide dans le choix des emplacements, des prélèvements effectués pour l'analyse chimique, pour l'examen micrographique et pour la fabrication des éprouvettes d'essais mécaniques.

La structure de l'alliage est mise en évidence parce que la solidification des métaux purs et des alliages métalliques progresse avec des vitesses différentes suivant généralement trois directions et détermine des dendrites qui sont enchevêtrées après solidification totale. La composition chimique d'une dendrite n'est pas homogène, le centre est plus pur que la périphérie et cette hétérogénéité permet de le mettre en évidence par une attaque. Les dendrites sont alignées par les différents traitements mécaniques que l'on fait subir au métal. L'essai de macrostructure permet de reconnaître l'orientation des dendrites et de savoir si une pièce est brut de coulée ou laminée, si elle est découpée ou matrice, s'il y a des soudures, donc de vérifier son mode de fabrication.

## X. — TREMPE, RECUIT, REVENU

### Définition de la trempe.

La trempe est une opération qui consiste à refroidir brusquement un produit métallurgique porté à une température élevée bien définie, afin d'en modifier les propriétés.

Les modifications obtenues sont variables suivant les produits ; dans le cas des aciers durs et mi-durs on recherche une augmentation de la dureté, dans le cas des aciers doux, une homogénéisation ; pour les bronzes, une augmentation de la malléabilité.

Pour qu'un produit métallurgique prenne la trempe, il est nécessaire que le réchauffage permette de modifier la nature ou la proportion des constituants de l'alliage qui existent normalement à la température ordinaire.

**Trempe des aciers.** — L'élévation de la température produit une modification de la nature des constituants.

Les composants normaux à froid de l'acier sont le fer sous la forme  $\alpha$  magnétique et le carbure de fer  $Fe_3C$  ou cémentite.

Pendant le réchauffage, lorsque la température atteint celle des points de transformation, température variable avec la teneur en carbone de l'acier ainsi que l'indique la figure 44, le fer  $\alpha$  se transforme en  $\gamma$  non magnétique qui dissout le carbure de fer.

Le refroidissement suffisamment rapide du métal ainsi transformé permet de modifier les propriétés qu'il avait avant trempe.

**Facteurs de la trempe.** — Ce sont la composition chimique, la vitesse de refroidissement, la température maximum de chauffage avant trempe. Nous venons de voir qu'il y a une température minimum de trempe qui est la température du point de transformation le plus élevé de l'acier considéré. Au refroidissement la transformation se produit à une température plus basse qu'au chauffage ; l'écart de ces températures varie avec la vitesse de refroidissement.

La température des points de transformation au refroidissement s'abaisse à mesure que la vitesse de refroidissement augmente ; tant que cette température reste supérieure à  $600^\circ$ , l'acier augmente légèrement de dureté, il est formé de troostite.

Pour une certaine valeur de la vitesse de refroidissement, on observe l'apparition d'un deuxième point de transformation vers 350°, le premier restant aux environs de 600°.

Une augmentation notable de la dureté coïncide avec l'apparition de ce deuxième point de transformation et l'acier est formé de martensite. Cette vitesse de refroidissement est dite vitesse critique de trempe,

Si la vitesse de refroidissement continue à augmenter, le premier point de transformation disparaît et seul persiste celui qui se produit à basse température ; la dureté de l'acier diminue, il est formé d'austénite.

On fait varier la vitesse de trempe pour un même acier soit en modifiant la nature du bain de trempe ou sa température, l'eau froide est plus active que l'huile, soit en modifiant la température de trempe, une augmentation de température correspond à une augmentation de la vitesse de refroidissement.

On n'a pas intérêt en général à adopter une température de trempe trop élevée pour éviter un grossissement exagéré des grains de l'acier et la fragilité qui en résulterait ; en pratique la température de tempe correcte est supérieure de 50° à celle du point de transformation le plus élevé de l'acier considéré.

Exceptionnellement pour les aciers rapides, la température de trempe est voisine de la température de fusion.

Il faut en effet, pour que la trempe modifie les propriétés du métal que le carbure de fer entre en solution dans le fer pendant le réchauffage qui précède la trempe ; dans le cas des aciers ordinaires, cette dissolution s'effectue aisément pour des températures voisines de celle du point de transformation supérieur, d'où la règle que nous avons indiquée.

Dans le cas des aciers rapides au contraire, il y a des carbures complexes contenant du chrome, du tungstène, difficiles à dissoudre dans le fer, d'où la nécessité d'élever le plus possible la température pour diminuer la durée du chauffage nécessaire pour que la dissolution se produise.

**Influence de la composition.** — Les modifications apportées par la trempe varient avec la composition de l'acier.

La figure 45 donne les variations de la dureté des aciers ordinaires en fonction de la teneur en carbone en supposant que la trempe a donné pour chacun d'eux le maximum de dureté.

L'addition de certains corps tel le manganèse le nickel, le chrome agit dans le même sens qu'une augmentation de la vitesse de refroidissement et il existe une teneur pour laquelle la vitesse de refroidissement à l'air est la vitesse critique de trempe ; l'acier correspondant est alors dit auto-trempant.

Pour de fortes proportions de ces éléments, l'acier peut être nor-



malement constitué d'austénite après un refroidissement lent ; tels sont les aciers à 12 0/0 de manganèse.

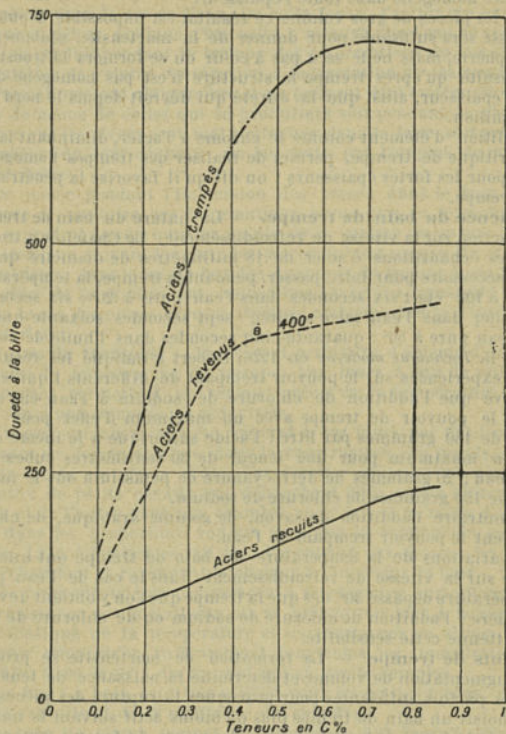


FIG. 45.

Pour les pièces de petite dimension et pour des teneurs en carbone supérieures à 0,5 il est possible avec les aciers ordinaires d'avoir,

en tous les points pendant la trempe, une vitesse de refroidissement suffisante pour obtenir de la martensite et avoir après trempe une structure homogène dans toute l'épaisseur.

Pour les pièces de gros volume ce résultat est impossible à obtenir la vitesse sera suffisante pour donner de la martensite, seulement à la périphérie, mais ne le sera pas à cœur ou se formera la troostite : il en résulte qu'après trempe la structure n'est pas homogène dans toute l'épaisseur, ainsi que la dureté qui décroît depuis le bord jusqu'au milieu.

L'addition d'élément comme le chrome à l'acier, diminuant la vitesse critique de trempe, permet de réaliser des trempes homogènes même pour les fortes épaisseurs : on dit qu'il favorise la pénétration de la trempe.

**Influence du bain de trempe.** — La nature du bain de trempe a une action sur la vitesse de refroidissement : Le Chatelier a trouvé pour des échantillons d'acier de 18 millimètres de diamètre que le temps nécessaire pour faire passer, pendant la trempe, la température de 700° à 100° était six secondes dans l'eau pure à 20° ; six secondes vingt-cinq dans l'eau salée saturée : sept secondes soixante-quinze dans l'eau pure à 50° : quarante-cinq secondes dans l'huile de colza.

Dans la *Technique moderne* en 1926, Hébert a indiqué les résultats de ses expériences sur le pouvoir trempant de différents liquides. Il a trouvé que l'addition de chlorure de sodium à l'eau en augmente le pouvoir de trempe avec un maximum d'effet pour une teneur de 150 grammes par litre ; l'acide sulfurique a le même effet avec un maximum pour une teneur de 30 centimètres cubes par litre d'eau ; 20 grammes de ferrocyanure de potassium ont le même effet que 150 grammes de chlorure de sodium.

Au contraire l'addition de savon, de gomme arabique, de chaux diminuent le pouvoir trempant de l'eau.

Les variations de la température du bain de trempe ont une influence sur la vitesse de refroidissement : dans le cas de l'eau pure la température dépasse 30°, dès que la trempe que l'on y obtient devient irrégulière ; l'addition de chlorure de sodium ou de chlorure de calcium atténue cette sensibilité.

**Défauts de trempe.** — La formation de martensite se produit avec augmentation de volume et détermine la naissance de tensions internes parfois suffisantes pour provoquer la rupture des pièces.

On choisit un bain de trempe plus ou moins actif suivant la nature de l'acier, la forme et les dimensions des pièces, de façon à obtenir le plus grand durcissement possible sans cassure. On limite aussi les chances de tapures en faisant le revenu immédiatement après la trempe ; en sortant la pièce du bain de trempe avant complet refroidissement quand sa température est au-dessous de 200°. Cette dernière façon de procéder est évidemment assez délicate dans son

appréciation du degré de refroidissement obtenu. Il est plus facile de limiter l'action du bain en en prenant un volume limité, déterminé suivant l'importance de la pièce ; une à deux fois le poids de la pièce, dans le cas de l'eau. De cette façon, l'action du bain énergétique au début, diminue d'intensité à mesure que l'eau se réchauffe.

Il se produit pendant la trempe des déformations du fait de l'augmentation de volume consécutive à la formation de martensite ; ces déformations sont obligatoires et ne peuvent être évitées. Il n'en est pas de même de celles qui se produisent soit pendant le chauffage, parce que les pièces sont mal soutenues dans le four, soit pendant le transport du four au bain : on les évite par l'emploi de montages appropriés.

De même pendant l'immersion des pièces dans le bain il peut encore se produire des déformations parce que le refroidissement ne se produit pas en tous les points de la surface au même instant : on trempera suivant leur axe les pièces qui ont un axe de symétrie ; on utilisera dans le même but des appareils de trempe à jets liquides en place de la trempe par immersion ; avec ces appareils on peut dans le cas des pièces creuses tremper en même temps l'intérieur et l'extérieur.

**Fours de trempes.** — Ils doivent permettre d'obtenir d'une façon précise la température de trempe. Les fours à gaz de ville ou de gazogènes permettent un réglage précis de la température et l'obtention d'une atmosphère réductrice.

Un perfectionnement a été apporté à ces fours par l'utilisation de briques de forme spéciale, dans la construction des parois, soit des pieds-droits, soit de la voûte. Ces briques sont percées d'un grand nombre de petits canaux qui débouchent d'un côté à l'intérieur du four et de l'autre dans une chambre où se fait le mélange d'air et de gaz dans les proportions voulues pour que la combustion soit complète. La combustion se fait dans les canaux eux-mêmes, les briques se réchauffent et rayonnent la chaleur à l'intérieur du four.

Les fours électriques commencent à se répandre, surtout ceux dont la résistance est métallique, ils se prêtent très bien à la régulation automatique de la température et les résistances en alliage nickel-chrome supportent suffisamment longtemps les températures de trempe. C'est le prix du courant qui en limite l'emploi.

Les fours à bain sont très utilisés pour les petites pièces, à cause de la rapidité et de la régularité du chauffage.

Le bain de plomb permet de chauffer de 350° jusqu'à 900°, on le recouvre de charbon de bois pour éviter son oxydation.

Le chlorure de baryum exempt de sulfates est utilisé comme bain entre 960° et 1.300° :

On abaisse son point de fusion en le mélangeant avec du chlorure de sodium ou du chlorure de potassium.



22 0/0 de chlorure de potassium abaissent la température de fusion à 635° ;

60 0/0 de chlorure de potassium l'abaissent à 690°.

Ces bains de chlorures décarburent l'acier dur. Pour éviter cette décarburation, on y ajoute quelquefois des cyanures de sodium ou de potassium sans parvenir à éviter complètement cet inconvénient.

Aussi, pour le réchauffage des pièces qui ne doivent pas être décarburrées superficiellement, on utilise maintenant des bains de cyanure de sodium ou de potassium additionnés de chlorure de sodium et de carbonate de sodium, identiques à ceux utilisés dans la cémentation superficielle des petites pièces : il faut prendre la précaution d'évacuer soigneusement les vapeurs très toxiques qui s'en dégagent.

### Revenu.

Son but est de diminuer les effets de la trempe et d'atténuer ou de faire disparaître les tensions internes.

Dans le cas des aciers trempés, il consiste en un chauffage à une température inférieure à celle des points de transformation.

Le revenu modifie la nature des constituants de trempe : l'austénite se transforme en martensite qui se transforme en sorbite, constituant analogue à la troostite ; la sorbite se transforme enfin en perlite. La martensite est le constituant le plus dur et le plus fragile : pendant le revenu d'un acier trempé à l'état de martensite, on observe à mesure que la température croît ; une diminution de la dureté et une augmentation de la résilience qui passe par un maximum entre 600° et 700°, tandis que la dureté est encore pour ces températures légèrement supérieure à celle du produit recuit.

Il résulte de cette constatation que le traitement thermique permet d'améliorer simultanément toutes les propriétés des aciers.

Le maximum de la résilience après revenu est d'autant plus élevé que la trempe a été plus énergique.

Lorsque la trempe a provoqué la formation d'austénite, le revenu commence par provoquer une augmentation de la dureté puisque l'austénite se transforme en martensite : les propriétés se modifient ensuite comme dans le cas précédent.

Le revenu est fonction de la température et de la durée du chauffage qui agissent dans le même sens.

On peut obtenir le même résultat soit par un revenu à température élevée pendant un temps court, soit par un revenu à température plus basse pendant plus longtemps.

Il semble bien, d'après les expériences de Guillet et Portevin, que la coloration superficielle du métal soit identique dans les deux cas

et constitue un indicateur de revenu. Cette propriété est très fréquemment utilisée pour définir le revenu des outils.

Pour chaque température il y a une durée limite de revenu au delà de laquelle les variations de propriétés mécaniques deviennent très faibles.

**Procédés de chauffage.** — La température doit aussi précise que dans le cas de la trempe. On utilise pour chauffer les grosses pièces des fours à gaz ou des fours électriques à résistances ; pour les petites pièces, des bains liquides, par exemple :

Jusqu'à 300° l'huile de colza ;

Jusqu'à 500° un mélange d'azotate et d'azotite suivant les proportions suivantes ;

Azotate de potassium.....	0	20	40	50	55	60	80	100
Azotite de sodium.....	100	80	60	50	45	40	20	0
Température de fusion.....	280	230	172	145	137	145	220	335

A partir de 500° on peut utiliser le mélange des chlorures suivants

Chlorure de sodium 1 ;

Chlorure de potassium 1 ;

Chlorure de calcium 2 ;

Une méthode de revenu intéressante pour les petites pièces, consiste à les réchauffer dans un bain salin dont la température de fusion est égale à la température de revenu à réaliser : on réchauffe le bain à une température supérieure de 50° environ à celle de sa fusion, avant d'y plonger la pièce à revenir. Étant froide, celle-ci se recouvre, dès son immersion, d'une couche de sel solidifié ; on saura que la température de la surface de la pièce est égale à la température de fusion du sel quand la couche de sel qui la recouvrait disparaîtra.

**Vitesse de refroidissement après revenu.** — Le refroidissement rapide permet de mieux définir la durée de revenu que le refroidissement lent, mais il détermine la formation de tensions : dans le cas des aciers nickel-chrome, le refroidissement doit être rapide, pour éviter de rendre le métal fragile.

### Trempe et revenu des alliages légers d'aluminium.

Ces alliages dont le type est le duralumin sont formés des combinaisons  $Al^2Cu$ ,  $Mg^2Si$  et d'une solution solide de ces combinaisons dans l'aluminium. La solubilité des combinaisons dans l'aluminium augmente avec la température. Le réchauffage permet, pour cette raison, de modifier la proportion des constituants de l'alliage, et la trempe maintiendra à froid cette proportion. Le métal est alors en

état hors d'équilibre, la solution solide étant sursaturée de combinaisons.

Le revenu permet de détruire cette sursaturation et détermine la précipitation des combinaisons en excès. Étant donné la basse température nécessitée pour effectuer le revenu, ce dépôt se produit sous la forme de très fines particules réparties dans toute la masse ; leur état d'extrême division est la cause de l'augmentation de dureté qui se produit pendant le revenu ; la trempe adoucit l'alliage, le durcissement n'est obtenu que par revenu.

Pour le duralumin la température de trempe est de 475° ; la température de revenu est la température ambiante, sa durée étant de quarante-huit heures environ. Si le revenu est effectué à 150°, le maximum de durcissement est obtenu en quelques heures. Pour certains alliages d'aluminium comme ceux contenant 5 0/0 de cuivre la température de trempe est identique à celle du duralumin, mais le revenu doit être effectué à 150°.

### Recuit.

Le recuit consiste en un chauffage des produits métallurgiques à température plus ou moins élevée, suivi d'un refroidissement lent. Il est utilisé pour détruire la trempe, pour détruire l'érouissage, pour améliorer la structure des produits bruts de coulée ou surchauffés.

**Destruction de la trempe.**— Elle permet de récupérer les pièces qui ont été trop déformées pendant la trempe; après recuit, elles peuvent être redressées et traitées à nouveau correctement.

La température de recuit des aciers trempés est la même que celle de la trempe et les deux traitements ne diffèrent que par la vitesse de refroidissement qui doit être lente dans le cas du recuit.

Il est un cas cependant, celui des aciers trempant à l'air, où l'on a intérêt à recuire à une température inférieure à celle des points de transformations, à cause de la difficulté de réduire suffisamment la vitesse de refroidissement pour ne pas tremper ; le recuit dans ce cas est un revenu poussé au maximum.

**Destruction de l'érouissage.** — L'érouissage augmente la charge de rupture, la limite élastique et la dureté des métaux ; il en diminue les allongements, la striction et la résilience et détermine la formation de tensions internes qui réduisent les efforts que l'on peut demander au métal, pendant son utilisation, sans qu'il se rompe.

Le recuit permet de détruire soit complètement, soit partiellement, l'érouissage. L'étude de la variation des propriétés mécaniques des métaux ou alliages érouis, en fonction de la température de recuit, montre que tant que la température reste inférieure à une certaine valeur définie pour chaque produit métallurgique, il n'y a pas de



modification sensible des propriétés. A partir de cette température les variations de propriétés deviennent très importantes avec l'augmentation de la température, c'est la période de détente, puis elles restent constantes pendant tout un intervalle de températures, correspondant au recuit complet : pour des températures supérieures, les propriétés diminuent, il y a surchauffe.

Les températures de ces différents intervalles varient avec la nature des produits métallurgiques mais ne dépendent pas du degré d'érouissage : nous indiquons ci-dessous ces températures pour les principaux.

MÉTAL	TEMPÉRATURE	
	Détente	Recuit complet
Cuivre .....	150-300°	300-700°
Laiton 90-10 .....	300-400°	600-700°
Laiton 67-33 et 60-40 .....	275-300°	750-800°
Nickel .....	200-700°	700-900°
Maillechort .....		700°
Aluminium .....	100-350°	350-450°
Acier .....	550-700°	650-800°
Zinc .....		150°
Argent .....		650°
Or .....		650°
Plomb et Etain .....		Température ordinaire

**Cas des déformations locales.** — Un métal déformé sous un effort légèrement supérieur à sa limite élastique, puis recuit à une température trop basse devient anormalement fragile : ce phénomène s'observe sur une tôle d'acier doux pliée à froid et recuite aux environs de 600° ; la zone fragile se trouve à une certaine distance du sommet de l'angle. Un recuit à température correcte permet d'éviter cette fragilité.

**Recuit des produits bruts de coulée.** — Son but est de donner de l'homogénéité à la structure et d'améliorer, comme conséquence, les propriétés mécaniques des produits bruts de coulée : de détruire les tensions internes, qu'ils contiennent et qui peuvent en déterminer la rupture.

Dans le cas de pièces en fonte, un recuit à 600° sans dépasser 625° suivi d'un refroidissement lent pendant vingt-quatre à quarante-huit heures permet d'atteindre ce but.

**Régénération des aciers surchauffés.** — Le séjour de l'acier à température élevée provoque le grossissement des grains qui rend le métal fragile.

Pour faire disparaître cette fragilité, on réchauffe l'acier à une température légèrement supérieure à celle de son point de transformation le plus élevé. La transformation du fer  $\alpha$  en fer  $\gamma$  se fait avec multiplication du nombre des grains, donc diminution de leur volume : pendant le refroidissement suivant, chaque grain de fer  $\gamma$  ne donne qu'un grain de fer  $\alpha$ . Grâce à cette transformation indirecte, la régénération de l'acier est possible, à condition que la durée du séjour à la température de recuit ne soit pas trop prolongée, pour ne pas provoquer le grossissement du fer  $\gamma$ .

Un acier brûlé ne peut pas être régénéré par ce traitement ; pendant son séjour à haute température, les grains ont grossi dans le cas de la surchauffe, et se sont plus ou moins oxydés sur leur pourtour. L'oxyde ainsi formé ne peut pas être réduit par recuit mais seulement par une désoxydation pendant une nouvelle fusion du métal.

**Trempe des aciers cémentés.** — Nous traitons ici cette question, parce que le traitement correct nécessite une régénération de la partie non cémentée.

Pour obtenir une profondeur de cémentation suffisante, on est conduit à faire séjourner l'acier à température élevée pendant un temps assez long ; d'où résulte la formation de gros grains dans l'acier extra-doux qui constitue le cœur de la pièce cémentée.

Après cémentation tout se passe comme si la surface de la pièce était constituée par un acier dur et la principale propriété demandée aux pièces cémentées étant de présenter une grande dureté, on trempe la pièce de façon à obtenir le maximum de dureté en surface.

Ce résultat est obtenu en trempant à 800°.

Par ce traitement on n'a pas détruit la fragilité de l'âme qui a été surchauffée, ainsi que nous l'avons indiqué. On ne parviendra à la régénérer que par un recuit à bonne température, 950°, ou mieux par une trempe à l'eau à la même température. Cette trempe durcit en même temps la surface mais moins que celle effectuée à 800° parce qu'il y a hypertrempe ; d'où la nécessité dans le cas où l'on veut obtenir des pièces cémentées qui après trempe seront en même temps très dures et peu fragiles, de procéder à la double trempe en exécutant d'abord une première trempe à 950° dite de régénération, puis ensuite une deuxième trempe à 800° qui donnera le maximum de dureté possible à la surface.

**Coalescence.** — Le recuit prolongé d'un produit métallurgique détermine le grossissement des grains, et quand il y a deux constituants, les éléments de même nature ont tendance à se grouper, ce qui amène une modification des propriétés du métal.

Dans le cas de l'acier, les lamelles de la cémentite qui entre dans la constitution de la perlite se transforment en globules, quand la température de recuit oscille [autour du point de transformation le plus bas. Cette modification produit une diminution de la charge de rupture et une augmentation de la malléabilité qui favorise l'emboutissage.

Un acier coalescé prend difficilement la trempe, parce que le carbure de fer étant groupé, se dissout moins facilement que lorsqu'il est très divisé, comme dans l'acier normal.

**Fonte malléable américaine.** — On l'obtient par un recuit prolongé de pièces en fonte blanche, à une température de 880° à 930°, suivi d'un refroidissement très lent. Le carbure de fer de la fonte initiale se décompose pendant le chauffage, en fer et graphite ; ce dernier en forme de nodules.

La composition de la fonte initiale est généralement la suivante :

Carbone = 2,6 à 2,8 ; Silicium = 1,2 à 0,8 ; Manganèse = 0,2 à 0,3 ;  
Soufre = 0,15 à 0,10 ; Phosphore = 0,10 à 0,18.

La durée du recuit est de soixante heures environ ; le refroidissement se fait à la vitesse de 6° à l'heure de 900° à 750°, puis de 2°,5 à l'heure de 750 à 700°, de 3° à l'heure de 700° à 600°, puis plus rapidement. Les caractéristiques moyennes de la fonte malléable ainsi obtenue sont :

R = 33 à 45 kilogrammes par millimètre carré ;  
A 0/0 = 12 à 20 — — —

**Diagramme de traitement thermique des aciers.** — Pour compléter ce chapitre, nous croyons utile de reproduire un diagramme établi par La Rockwell C°, des États-Unis, adapté par nous à l'échelle des températures usuelles en France et qui contient tous les renseignements nécessaires au traitement thermique des aciers de toute teneur en carbone, de 0 à 1,6 0/0.

Les colonnes verticales du tableau portent les températures ainsi que les indications des couleurs correspondant à chacune de ces températures. En face des températures de revenu sont indiqués les outils auxquels ces températures sont généralement appliquées.

Au bas du diagramme sont portées les teneurs en carbone pratiquement possibles ; sur l'ordonnée correspondant à chaque teneur, on peut lire les emplois des aciers de cette composition.

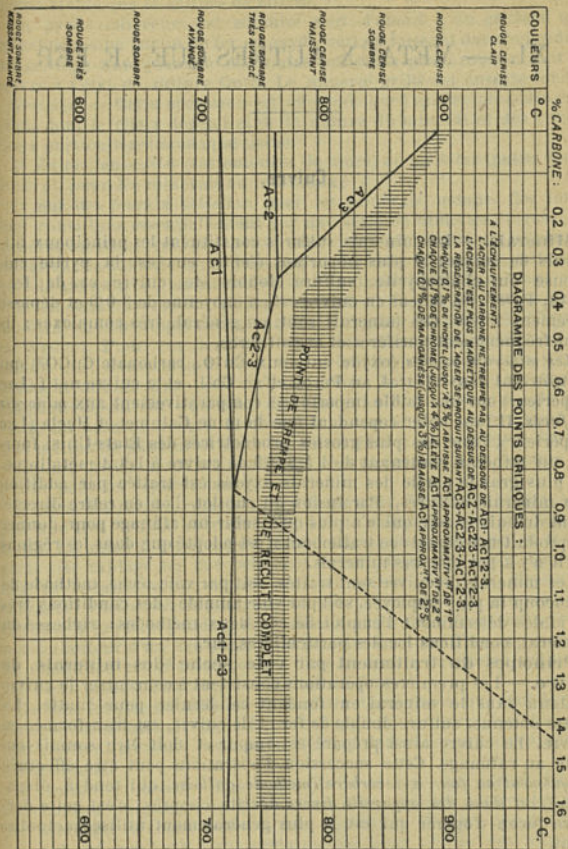
En haut du tableau, un diagramme des points critiques indique les températures de trempe et de recuit qui conviennent aux aciers de composition usuelle.

*Pour le Diagramme de traitement thermique de l'acier,  
voir pages 248 et 249.*





des aciers (dressés par la W. S. Rockwell C°).



## XI. — MÉTAUX AUTRES QUE LE FER

## Cuivre.

**Minerais.** — Les minerais sulfurés constituent les principaux minerais de cuivre; le plus important d'entre eux est la pyrite cuivreuse ou chalcopryrite, sulfure double de cuivre et de fer:  $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{Fe}_2\text{S}_3$ . Sa teneur en cuivre est en moyenne de 3 0/0 et dépasse rarement 15 0/0. Ces minerais sont, en général, très complexes; ils sont fréquemment aurifères et argentifères.

*Les minerais oxydés* (oxyde cuivreux  $\text{Cu}_2\text{O}$ , carbonate  $\text{CuCO}_3$ ) qui se trouvent dans l'Oural, au Pérou et au Chili, et le cuivre natif (Lac Supérieur) ont une faible importance comparativement aux *minerais sulfurés*. Il faut noter cependant que la mine Calumet et Hecla (Lac Supérieur), l'une des plus grosses productrices des États-Unis, fournit un minerai contenant de 1 à 3 0/0 de cuivre à l'état métallique. La plus grande partie des minerais oxydés est traitée par addition aux minerais sulfurés. Par fusion au cubilot, l'on en retire directement du cuivre noir qui n'a plus qu'à subir un affinage pour donner un produit marchand: ce traitement n'est adopté que dans les régions où il n'y a pas d'autres minerais.

Les minerais de cuivre sont traités, soit par voie sèche, méthode de beaucoup la plus employée, soit par voie humide; des conditions très variables déterminent l'emploi de ces deux méthodes: richesse du minerai, conditions locales particulières, etc.

**Principes du traitement par voie sèche des minerais de cuivre.** — Les premières opérations consistent à concentrer le cuivre contenu dans le minerai en fondant ce dernier pour matte. La matte obtenue, sulfure double de fer et de cuivre, est transformée en cuivre. Le cuivre ainsi préparé est impur et doit être soumis ensuite au raffinage. Cette succession d'opérations peut être effectuée *uniquement au four à reverbère (méthode galloise, qui tend à disparaître)* ou *dans des appareils divers* décrits ci-après; c'est cette dernière façon d'opérer qui est la plus généralement utilisée actuellement.

**Fusion pour mattes.** — La fusion pour mattes est basée sur ce



que le fer est plus oxydable que le cuivre et que le sulfure de fer est moins stable que le sulfure de cuivre.

La pyrite cuivreuse est soumise tout d'abord à un grillage qui transforme une partie du fer en oxyde tout en laissant dans le produit du grillage une quantité de soufre suffisante pour retenir tout le cuivre à l'état de sulfure  $\text{Cu}_2\text{S}$ . Le minerai grillé est ensuite fondu.

*Grillage.* — Cette opération est effectuée par l'un des procédés suivants dont le choix dépend et de la nature du minerai et des conditions particulières à chaque usine.

1° En *tas*, en *stalles* (tas entourés de murs) ou en *kilns* (petits fours à cuve), pour les minerais en morceaux ;

2° Sur des *fours à tablettes*, pour les minerais menus. Ces fours sont constitués essentiellement par une série de tablettes étagées ; le minerai arrivant sur la tablette supérieure est poussé au moyen de râbles sur la tablette immédiatement inférieure et ainsi de suite jusqu'à la tablette la plus basse d'où il est extrait. L'air de grillage circule en sens inverse. Le râblage peut être effectué à la main (four Malétra) ou mécaniquement (four Mac Dougall, Herreschoff, Kleptko et Wedge). Pour ces derniers fours, les soles sont rondes et les râbles, qui, dans certains cas, sont refroidis par circulation d'eau, tournent autour d'un axe vertical creux ; le minerai est entraîné alternativement sur une sole, du centre au bord et sur la sole suivante du bord au centre. Le four Wedge est le plus perfectionné ; il a 10 mètres de hauteur et ses soles ont 6 mètres de diamètre ; l'arbre creux a 0<sup>m</sup>,80 de diamètre intérieur, ce qui permet à un homme d'y passer pour les réparations ;

3° Dans des *fours à reverbère*. Ces fours sont constitués en principe par une très longue sole chauffée à une extrémité par un foyer à grille. Le minerai est chargé à l'extrémité opposée du foyer et transporté par râblage ou par pelletage au voisinage de l'autel. Dans le but de réduire la main-d'œuvre, l'on utilise l'un des dispositifs suivants : *râbles mécaniques* ; *soles tournant* autour d'un axe vertical, la voûte à laquelle pendent des râbles restant fixe ; *fours entièrement mobiles* autour d'un axe horizontal ou mieux autour d'un axe incliné. Le chauffage est effectué comme dans le four à reverbère ordinaire par foyer placé à l'une des extrémités du four.

Ce sont les *fours à tablettes* et les *fours à reverbères* qui sont le plus généralement utilisés dans la métallurgie du cuivre, les derniers tout particulièrement pour le traitement des minéraux arsénieux et antimonieux.

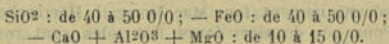
4° Au *convertisseur*. — Les appareils de ce type, qui seront décrits au chapitre du plomb, se divisent en deux groupes : convertisseurs par soufflage et convertisseurs par aspiration. Ce sont ces derniers qui ont été employés dans certains cas pour griller des minerais de cuivre. A Garfield, fonctionne une table horizontale type de

Bindsfeldhammer) traitant par vingt-quatre heures 35 tonnes de fines à 30 0/0 de soufre.

Le grillage doit être réglé de telle façon que le produit obtenu donne, au cours de la fusion pour matte, tout le cuivre à l'état de  $\text{Cu}_2\text{S}$  et une certaine partie du fer à l'état de  $\text{FeS}$ .

**Fusion du minerai grillé.** — Le fer qui, du fait du grillage, se trouve en grande partie à l'état d'oxyde va, au cours de la fusion, être scorifié avec la gangue du minerai; le cuivre s'unira au soufre sous forme de  $\text{Cu}_2\text{S}$  qui s'unit au  $\text{FeS}$  laissé au grillage pour donner la matte de formule générale  $\text{Cu}_2\text{S} \cdot n\text{FeS}$ . L'or et l'argent renfermés dans le lit de fusion passent dans la matte. Il est intéressant de noter qu'une faible quantité de cuivre dans le lit de fusion, de 0,5 à 3 0/0, suffit pour rassembler la totalité des métaux précieux.

Outre la matte, la fusion produit la scorie, silicate complexe dont les principales bases sont la chaux et l'oxyde de fer. La composition des scories qui convient le mieux pour qu'il y ait séparation franche de la scorie et de la matte est la suivante :



La densité de cette scorie est voisine de 4.

La teneur admissible en cuivre de la scorie est 1 0/0 en général, rarement 2 0/0.

La fusion pour matte se fait soit au four reverbère, soit plus fréquemment au four à cuve.

Le four à reverbère est employé principalement pour le traitement des minerais poussiéreux; il présente l'inconvénient de ne pas permettre d'effectuer rapidement les opérations, car le chauffage du bain a lieu à travers la couche de scories; par contre les scories sont homogènes et la séparation de la matte et de la scorie s'effectue dans d'excellentes conditions.

Les fours à reverbère modernes sont munis de tous les perfectionnements résultant du chauffage par le gaz avec récupérateurs. Certains de ces fours sont de très grandes dimensions. A l'Anaconda existe un four dont la sole a  $34^m \times 5^m,80$ ; la température atteinte est de  $1.700^\circ$ ; la surface de grille est de 10 mètres carrés. Ce four peut traiter 300 tonnes de minerai par vingt-quatre heures avec une dépense de charbon de 52 à 53 tonnes. Les chaleurs perdues chauffent des chaudières fournissant une force de 600 HP. Dans des fours de pareilles dimensions, la perte en cuivre est abaissée très sensiblement et la consommation de combustible très fortement réduite.

Depuis quelque temps, on utilise avec succès, pour le chauffage des fours à reverbère, le charbon pulvérisé. Cette application a nécessité une modification intéressante des fours. Le chargement ne se fait plus au milieu de la voûte du four, mais par les côtés. Les tré-

mies de chargement communiquent avec l'intérieur du four par des tuyaux par lesquels s'écoule la charge. Le lit de fusion s'étale en forme de banquette dans le four. Outre que la fusion se fait beaucoup mieux, des surfaces continuellement renouvelées étant au contact des gaz de combustion, cette disposition présente l'énorme avantage de protéger très efficacement les parois du four. Un four qui, avant le chauffage au charbon pulvérisé, passait par vingt-quatre heures 275 tonnes de minerai avec une moyenne de 4,5 tonnes de minerai par tonne de charbon, a pu traiter 500 tonne par jour avec une moyenne de 7,5 tonnes de minerai par tonnes de charbon, en employant de très bons charbons; ces résultats sont ramenés à 420 tonnes de charge et une moyenne de 5,5 tonnes avec un charbon à 20 0/0 de cendres et 25 0/0 de matières volatiles.

Les fours à cuve sont toujours des *water-jackets*; l'on désigne ainsi des fours dans lesquels, à la région des tuyères, la paroi réfractaire est remplacée par une chemise métallique refroidie par une circulation d'eau. Les *water-jackets* sont de section ronde pour les faibles charges et de section rectangulaire pour les charges importantes. Dans ce dernier modèle, les tuyères sont placées uniquement sur les longs côtés, ce qui fait que le lit de fusion est atteint dans toute son épaisseur. Il existe des fours de  $25^m,10 \times 1^m,40$ .

Alors que, dans les anciens *water-jackets*, la matte et la scorie se rassemblaient dans le creuset dont elles étaient évacuées par deux trous de coulée placés à des hauteurs différentes, dans les fours modernes, elles se rassemblent dans un avant-creuset. Cet avant-creuset est constitué par un bassin revêtu de parois réfractaires, placé devant le four et monté sur roues; il possède à la partie inférieure un trou de coulée pour la matte; la scorie se déverse par un bec à la partie supérieure. Ce dispositif présente l'avantage de permettre une meilleure décantation des produits et l'élimination des accidents résultant de la formation des « lousps », masse de fer provenant de la réduction du minerai de fer contenu dans le lit de fusion.

Il y a lieu de mentionner d'autres progrès dans l'aménagement des *water-jackets*: évacuation de l'eau des jackets à l'ébullition, d'où économie d'eau; soufflage à l'air chaud (250-300°) permettant de fondre des charges plus siliceuses (de 2 à 4 0/0 de  $\text{SiO}_2$  en plus) et de réaliser une économie de combustible pouvant atteindre 30 0/0. L'air est échauffé soit par passage dans des tubes chauffés au moyen de combustible bon marché ou au moyen des gaz sortant de l'appareil, soit par la chaleur des scories coulant de l'avant-creuset. Enfin un progrès très réel est réalisé par l'emploi de mélangeurs contenant de 25 à 30 tonnes de mattes en vue d'homogénéiser ces dernières.

On a obtenu des résultats intéressants en employant le charbon pulvérisé pour le chauffage des *water-jacket*. Toutefois le problème n'est pas encore complètement résolu. Le charbon pulvérisé est in-



jecté dans le four un peu au-dessus du niveau des tuyères, au moyen d'une petite quantité d'air sous pression. On est arrivé à réduire ainsi de 50 0/0 la consommation de coke, mais on n'a pas obtenu de résultats favorables en supprimant totalement le coke de la charge.

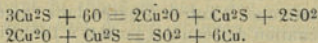
Les scories provenant de la fusion pour mattes peuvent être utilisées à la fabrication de pavés par moulage ou à la fabrication de silico-calcaires.

**Fusions pyritique et semi-pyritique.** — Certains minerais peuvent être fondus pour mattes directement sans grillage partiel préalable. Ce mode de traitement constitue la fusion pyritique. Au cours de la fusion, une grande partie du fer est scorifiée. Il n'y a pas de combustible à utiliser, la combustion du fer et du soufre apportant les calories nécessaires à l'opération. La fusion pyritique est très peu employée.

La fusion semi-pyritique est d'un emploi plus répandu. Elle consiste à effectuer la fusion oxydante en présence d'une certaine quantité de combustible, toujours bien inférieure à celle employée dans la fusion ordinaire pour mattes (de 3 à 8 0/0 du lit de fusion). La quantité d'air nécessaire est très grande. L'opération se fait dans un water-jacket pouvant passer des quantités importantes de minerai et possédant de grandes tuyères.

La fusion semi-pyritique peut s'appliquer à tout produit contenant plus de 200 de S pour 100 de Cu et une quantité de silice libre assez élevée pour scorifier le FeO qui se forme.

**Convertissage de la matte.** — Dans cette opération, la matte est transformée en cuivre brut. Pour cela, la matte fondue contenant de 45 à 50 0/0 de cuivre est versée dans un convertisseur de revêtement siliceux. L'on y insuffle de l'air qui oxyde le fer de la matte; l'oxyde formé est scorifié par la silice du revêtement. Le sulfure de cuivre s'oxyde pour donner finalement du cuivre métallique suivant les réactions :



Le revêtement s'use très rapidement; il dure de 6 à 9 charges en moyenne. Aussi, dans les usines utilisant les convertisseurs à revêtement acide, l'entretien des revêtements joue un rôle primordial. Il y a lieu d'ajouter que le prix de l'usine est grevé de l'établissement d'un atelier de garnissage important.

Les métaux précieux du lit de fusion, passés dans la matte, se retrouvent en totalité dans le cuivre brut.

Les convertisseurs employés pour cette opération sont de deux sortes : la cornue verticale et le convertisseur cylindrique à axe horizontal.

Pour remédier à l'usure très rapide du revêtement acide, l'on utilise actuellement des convertisseurs à revêtement basique, ne participant pas aux réactions; la silice nécessaire à la scorification de l'oxyde de fer est fournie par un minerai de composition appropriée et ajouté à la matte fondue. Pour éviter que la silice ne réagisse sur le revêtement basique, l'on a recours au tour de main suivant : lorsqu'on utilise un revêtement neuf, on effectue la conversion de la matte sans addition de silice; il se forme de l'oxyde  $Fe^3O_4$  dont on enduit le revêtement en faisant basculer le convertisseur autour de son axe. Cet enduit qui ne fond qu'à 1.500° ne sera pas attaqué au cours des opérations ultérieures où la température atteinte est bien moins élevée.

Il existe deux types de convertisseurs basiques : le cylindrique horizontal et le vertical; ce dernier est caractérisé par un fort diamètre (6 mètres de diamètre extérieur) et une faible hauteur.

L'appareil horizontal (Pierre Smith) utilisé aux usines de Baltimore a 3 mètres de diamètre intérieur, 6<sup>m</sup>,90 de long; l'enveloppe est constituée par une tôle de 18 millimètres. Il est muni de 32 tuyères de 31 millimètres de diamètre placées sur le côté de l'appareil. Des brûleurs à huile lourde sont utilisés pour le séchage du revêtement ainsi que pour remédier à des abaissements de température pouvant se produire au cours de l'opération. La charge se compose de 40 tonnes de matte fondue et de 3 tonnes de minerai siliceux, séché avancement au moyen des gaz du convertisseur; le mélange est soufflé à raison de 220 mètres cubes d'air par minute et ce, pendant trente à quarante minutes. Après ce premier soufflage, on bascule le convertisseur et fait écouler la scorie par une ouverture ménagée dans la paroi opposée aux tuyères. On fait une nouvelle charge de matte et de minerai, souffle à nouveau et recommence la même série d'opérations jusqu'à ce que le convertisseur soit rempli de matte blanche (65 à 72 0/0 de cuivre, 9 à 5 0/0 de fer et de 23 à 21 0/0 de soufre). On continue alors à souffler jusqu'à ce que toute la charge soit convertie en cuivre. Ce dernier soufflage peut durer de quatre à sept heures. La scorie, très pâteuse pendant cette dernière période, est laissée dans le convertisseur, le cuivre s'écoulant en dessous d'elle par un trou de coulée ménagé dans la paroi latérale du convertisseur. Cette scorie réagit avec la charge de matte que l'on verse dans le convertisseur pour commencer un nouveau cycle d'opérations. Le cuivre est coulé dans une poche et de là en lingotière.

Actuellement, 80 0/0 de la production mondiale de cuivre est obtenue au convertisseur basique.

**Traitement de la matte au réverbère.** — Le convertissage de la matte peut s'effectuer au four à réverbère suivant un principe analogue à celui du convertisseur, par la méthode dite du « réacteur ». Celle-ci consiste à insuffler sur le bain de matte simultanément de la

vapeur surchauffée, de l'air et du sable. Ce procédé est applicable également au raffinage du cuivre noir ou brut.

**Affinage du cuivre brut.** — Au cours du convertissage, la plus grande partie des impuretés que contenait la matte a été éliminée ; il en reste cependant une quantité trop grande pour que le cuivre soit utilisable ; il y a donc lieu de l'affiner.

Pour cela les lingots de cuivre noir sont fondus lentement au réverbère ; après un bouillonnement qui se produit au début, l'on effectue le premier « perchage » qui a pour but de réduire l'oxyde de cuivre  $Cu_2O$  formé ; ce perchage est réalisé en introduisant dans le bain une perche de bois vert ; il en résulte un vif dégagement de gaz réducteurs qui entraînent la majeure partie de l'acide sulfureux maintenu en solution. On projette sur le bain du charbon, et effectue un second perchage ; on obtient alors un cuivre à cassure fine et soyeuse. Il faut laisser dans le cuivre une faible quantité d'oxyde qui semble neutraliser l'effet des éléments étrangers.

Quand le minerai de cuivre contient de l'argent, ce dernier métal se trouve dans le cuivre brut et en est retiré par liqutation. Pour cela, on mêle au cuivre fondu une certaine quantité de plomb et l'on refroidit brusquement l'alliage coulé en disques. Ces disques sont réchauffés très lentement et, dès que la température est assez élevée, le plomb s'en écoule, entraînant avec lui tout l'argent. Le cuivre est ensuite raffiné et le plomb argentifère coupellé comme il sera expliqué au chapitre du plomb. Cette façon d'opérer tend de plus en plus à céder le pas au raffinage électrolytique.

Les fours à réverbère employés pour l'affinage ont reçu toutes les améliorations découlant de l'application des progrès les plus récents concernant le chauffage. L'on a construit des fours à revêtement basique ; sole en magnésie, piédroits et voûte en chromite.

**Raffinage électrolytique.** — Le cuivre produit aux fours d'affinage renferme les métaux précieux contenus dans les minerais ainsi que de très petites quantités d'impuretés ; pour obtenir du cuivre de très grande pureté (99,99 0/0 Cu) et de très haute conductibilité, il est nécessaire de soumettre le cuivre d'affinage à un raffinage électrolytique.

Le cuivre, à sa sortie du réverbère, est coulé en lames de 2 centimètres d'épaisseur au maximum. Ces lames servent d'anodes dans un électrolyte contenant 15 0/0 de sulfate de cuivre et 5,5 0/0 d'acide libre et maintenu aux environs de 35°. Comme cathode, on utilise des lames de cuivre très minces. Le courant employé est à une tension de 0,2-0,3 volts et une intensité de 250 ampères par millimètre cube de surface de cathode. Les électrodes peuvent être montées soit en série, soit en dérivation ; c'est ce dernier montage qui est le plus couramment employé. L'électrolyse est effectuée dans des cuves



en bois revêtues de plomb, placées à des niveaux différents et entre lesquelles circule l'électrolyte.

Au cours de l'opération, les métaux plus électropositifs que le cuivre se dissolvent (Bi, Fe, Zn, Ni); les métaux plus électronégatifs (Ag, Pt, Au) se retrouvent dans les boues, tandis que le plomb forme un sulfate qui précipite aussi.

Avec du cuivre brut arsenical ou antimonieux, le dépôt obtenu est noir; cet inconvénient est évité par addition de sulfate de sodium anhydre à raison de 6 kilogrammes par mètre cube d'électrolyte.

L'affinage électrolytique permet d'obtenir directement des tubes et des planches de cuivre.

Dans le procédé Elmore appliqué aux usines de Dives, la cathode est constituée par un mandrin tournant sur lequel se dépose le cuivre; des galets d'agate animés d'un mouvement de va-et-vient suivant la génératrice du cylindre cathodique polissent et régularisent le dépôt de cuivre.

Le procédé Jullien et Dessolles, utilisé aux usines de Vernou, est surtout appliqué aux planches; les galets d'agate suivent le tracé d'une sinusoïde; l'interposition d'un produit onctueux permet la séparation des feuilles; on obtient ainsi des planches ayant des propriétés mécaniques excellentes et d'épaisseur variant de 4/100 à 5/10 de millimètre.

**Production du cuivre par voie humide.** — Cette méthode n'est appliquée qu'à des minerais pauvres et dans des pays où le combustible est trop cher. Le principe général des méthodes de production du cuivre par voie humide consiste en une dissolution du cuivre par une liqueur acide contenant presque toujours du fer à l'état de perchlorure ou de sulfate ferrique, précipitation du cuivre par le fer, fusion et affinage du cuivre obtenu, dit « cuivre de ciment ». En Amérique, ces méthodes sont très développées; on y utilise l'acide sulfurique comme dissolvant et précipite le cuivre au moyen de fer spongieux obtenu en chauffant avec du charbon des agglomérés de cendres de pyrites. Le cuivre est précipité également par électrolyse en employant des anodes insolubles, généralement en magnétite fondue; l'addition d'anhydride sulfureux dans l'électrolyte augmente le rendement.

Dans le cas de traitement de minerais sulfureux, ceux-ci sont généralement soumis à un grillage chlorurant ou sulfatant.

**Fusion électrique.** — Le four électrique ne peut concurrencer le water-jacket au point de vue général; mais lorsque les prix du charbon où les transports ne permettent pas l'emploi du water-jacket, le four électrique est absolument indiqué, à condition de pouvoir disposer d'hydro-électricité. D'un grand nombre d'essais faits à ce sujet, il résulte que les réactions se passent de façon plus complète au four électrique, que la dépense en électrodes n'intervient pas de fa-

çon sensible dans le prix de revient: pour tous les autres aspects de la question, le four électrique peut être substitué au water-jacket. La consommation de force motrice est d'au moins 500 kilowatts-heure par tonne chargée.

### Propriétés du cuivre. Usages.

*Densité* : de 8,92 à l'état fondu, à 8,95 pour le cuivre laminé;

*Point de fusion* :  $1083 \pm 3^\circ$ ;

*Point d'ébullition* :  $2.100^\circ$ ;

*Résistance à la traction* à l'état laminé et recuit :

$R = 22 \text{ kg/mm}^2$ ;  $E = 3 \text{ à } 4 \text{ kg/mm}^2$ ;  $A = 50 \text{ 0/0}$ ;

*Chaleur spécifique* : 0,094. — Croît avec la température et se calcule par la formule :  $0,0939 + 0,00001778 \text{ tonnes}$ .

*Coefficient de dilatation linéaire* : 0,00001596.

Le cuivre est un excellent conducteur de la chaleur et de l'électricité; cependant, pour cette dernière, de petites quantités d'impuretés exercent une très grande influence, comme l'indiquent les diagrammes ci-après.

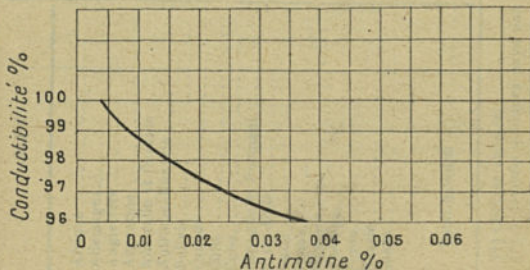
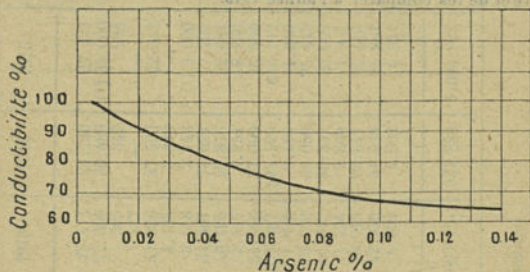
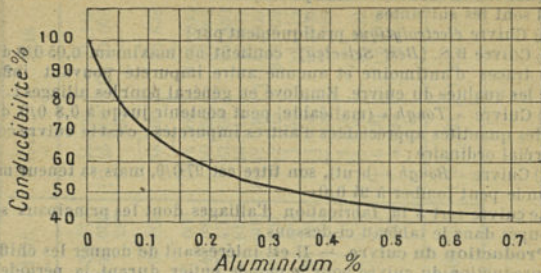


Fig. 46. — Effet de quelques impuretés sur la conductibilité électrique du cuivre.

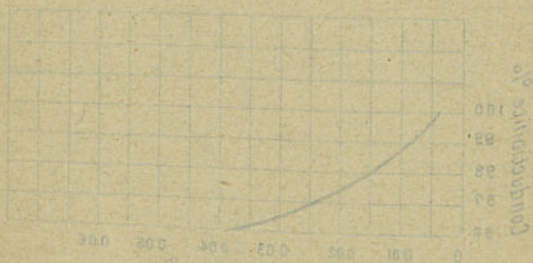
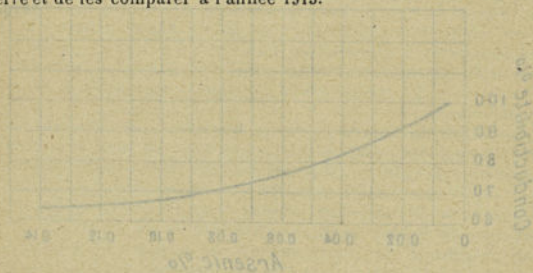


**Qualités de cuivre.** — Les principales variétés de cuivre commercial sont les suivantes :

- a) Cuivre *électrolytique* pratiquement pur;
- b) Cuivre B.S. (*Best Selected*); contient au maximum 0,05 0/0 d'As des traces d'antimoine et aucune autre impureté pouvant influencer sur les qualités du cuivre. Employé en général pour les alliages;
- c) Cuivre « *Tough* » (malleable) peut contenir jusqu'à 0,8 0/0 d'As et des quantités appréciables d'autres impuretés; c'est le cuivre commercial ordinaire;
- d) Cuivre « *Rough* » (brut), son titre est 97 0/0, mais sa teneur marchande peut tomber à 94 0/0.

Le cuivre sert à la fabrication d'alliages dont les principaux sont groupés dans le tableau ci-dessous :

**Production du cuivre.** — Il est intéressant de donner les chiffres de production du cuivre pour le monde entier durant la période de guerre et de les comparer à l'année 1913.



## Production mondiale du cuivre en tonnes métriques.

ANNÉES :	1913	1914	1915	1916	1917	1918
Afrique .....	25.411	24.135	27.327	34.572	45.138	31.410
Allemagne.....	25.309	30.480	(1) 35.000	(1) 45.000	(1) 45.000	(1) 40.000
Angleterre.....	305	347	238	282	490	—
Argentine.....	117	—	—	—	—	—
Australie et Océanie .....	47.326	37.590	32.512	35.000	38.100	33.838
Autriche-Hongrie .....	4.135	3.310	—	—	—	—
Bolivie.....	3.658	2.743	(1) 3.000	(1) 4.000	(1) 4.000	(1) 4.000
Canada.....	34.887	34.027	47.202	47.985	50.626	52.693
Chili.....	40.195	40.876	52.081	71.430	83.100	85.850
Cuba.....	3.317	6.251	8.836	7.816	10.313	12.337
Espagne et Portugal .....	54.696	37.099	46.200	(1) 42.000	(1) 42.000	(1) 41.000
États-Unis.....	537.387	525.529	646.212	881.237	872.065	848.203
Italie.....	1.626	2.410	1.840	1.867	1.248	1.114
Japon.....	73.152	68.058	75.415	81.280	111.256	95.800
Mexique.....	52.815	36.337	30.969	55.428	47.503	75.529
Norvège.....	11.796	2.860	2.867	1.162	1.810	—
Pérou.....	25.715	23.647	32.410	41.625	45.630	44.800
Russie.....	42.970	31.938	25.881	20.877	(1) 16.000	(1) 5.000
Suède.....	6.891	4.692	4.561	3.181	4.423	2.956
Total mondial (2).....	1.002.284	934.888	1.094.803	1.408.280	1.435.721	1.395.160

(1) Chiffres estimés.

(2) Y compris quelques pays non dénommés.

On voit par ce tableau l'influence qu'a exercée la guerre sur l'activité des mines et usines à cuivre. Léger recul en 1914, puis, sauf de rares exceptions, accroissement rapide sous la pression des demandes des pays belligérants.

En 1919, la production du cuivre a été considérablement moindre que dans les cinq années précédentes, la réduction du tonnage étant surtout imputable à la situation des mines des États-Unis et de celles appartenant aux Américains au Mexique, au Chili et au Pérou. Fléchissement de la demande et aussi des cours, manque de main-d'œuvre spécialisée, nécessité de reprendre, dans les mines, les travaux de prospection et d'aménagement négligés pendant les années d'exploitation à outrance de la période de guerre, telles furent les causes qui poussèrent les propriétaires américains de mines à réduire leur production de moitié. En d'autres pays, le défaut de main-d'œuvre et les chômages ont fait sentir également leur influence.

Le tableau ci-après donne la production et consommation moyennes annuelles pour l'Europe et le monde entier, en tonnes métriques.

ANNÉES :	1909 à 1913	1914 à 1918	1919 à 1923	1927	1928
<i>Production.</i>					
Européenne.....	182.000	154.000	81.000	139.900	146.827
Mondiale, y compris l'Europe..	936.000	1.278.000	914.000	1.532.300	1.751.904
<i>Consommation.</i>					
Européenne.....	576.000	588.000	338.000	749.285	
Mondiale, y compris l'Europe..	961.000	1.295.000	909.000	1.615.085	

**Prix.** — Voici les cours moyens pour les douze dernières années du cuivre Best Selected sur le marché de Londres et du cuivre électrolytique sur le marché de New-York.



ANNÉES	BEST SELECTED livres sterling par tonne de 1.016 kilogrammes (Londres)	ÉLECTROLYTIQUE en cents par livre anglaise de 453 <sup>gr</sup> .6 (New-York)
1908	59,902	13,208
1909	58,732	12,982
1910	57,054	12,738
1911	55,973	12,376
1912	72,942	16,341
1913	68,355	15,269
1914	61,524	13,602
1915	72,532	17,275
1916	116,029	27,202
1917	124,892	27,180
1918	115,530	24,628
1919	90,796	18,691
1920	97.12.3 1/2	18,006
1921	69.87 1/2	12,502
1922	62.3.6 2/21	13,382
1923	65.47.11 3/4	14,421
1924	69.4.2	13,024
1925	61.19.7	14,042
1926	58.0.9	13,795
1927	55.13.10 1/16	12,920
1928	69.9.3	15,087
1929	85.8.1	18,668

**Marché des minerais de cuivre.** — Les minerais et mattes de cuivre ont leurs marchés principaux à Londres et à Swansea, en Angleterre, à Anvers pour la Belgique et les provinces rhénanes, à Couëron et à Dunkerque, en France, etc. Le marché de Swansea est de beaucoup le plus important.

Les fondeurs anglais ont adopté, pour l'achat des minerais de cuivre, une formule, des procédés d'évaluation et d'analyses qu'il importe de connaître.

**Formule de Swansea.** — Les minerais sont achetés à la tonne anglaise (1.015 kilogrammes); mais, par exception, on compte la tonne à 21 quintaux anglais (1.065) au lieu de 20. C'est une bonification de 6,5 0/0 sur le poids qui est ainsi consentie.

L'analyse se fait par voie sèche par la méthode dite de Courouailles. Il existe entre les résultats de ce mode d'analyse et la teneur réelle du minerai une différence qui varie avec la teneur du minerai, mais qui, pour une richesse moyenne, 12 0/0 par exemple, représente environ une unité et demie de différence.

Le vendeur doit bonifier, en outre :

Le *draftage*, bonification spéciale de 21 1/2 livres anglaises par tonne de 21 quintaux = 11<sup>kg</sup>,09 par tonne anglaise ;

Un *trait de pesée* de 1/1000.

La valeur du cuivre contenu se règle d'après les deux tableaux suivants. Le premier donne la *valeur de l'unité de cuivre* d'après le cours de Best selected Copper, pour une teneur de 50 0/0; le second fait connaître les *frais de traitement à retrancher par unité de cuivre contenu* pour le minerai, ou de la matte d'une teneur en cuivre inférieure à 50 0/0.

En général, pour des *teneurs inférieures à 15 0/0*, on fait subir au résultat donné par ces tableaux, une *diminution spéciale* de 10 shillings par vingt quintaux.

En France et en Belgique, les frais de fusion sont prélevés comme suit :

Pour les minerais riches, à 15 0/0 et au delà :

De l'analyse par voie humide, déduisez une unité et demie. Le reste est facturé au cours du Best, moins 0 fr. 35 par kilogramme.

Pour les minerais plus pauvres, la déduction s'élève à 0 fr. 40 et même 0 fr. 50 par kilogramme.

Ces conditions s'entendent pour des minerais purs, *non arsenicaux*. Pour les cuivres gris argentifères, la formule est plus complexe (Voir ci-contre).

TABLEAU A. — (Valeurs d'avant-guerre).

COTE DU BEST SELECTED à Londres	VALEUR DE L'UNITÉ DE CUIVRE pour une teneur de 50 0/0	DIFFÉRENCE par livre sterling
40 £	6, 2, 4	2, 4
41	6, 4, 8	2, 3
42	6, 7, 1	2, 3
43	6, 9, 4	2, 4
44	6, 11, 8	2, 3
45	7, 2, 1	2, 4
46	7, 4, 5	2, 3
47	7, 6, 8	2, 3
48	7, 9, 1	2, 3
49	7, 11, 4	2, 4
50	8, 1, 8	2, 4
51	8, 2, 2	2, 4
52	8, 4, 6	2, 4
53	8, 7, 0	2, 4
54	8, 9, 4	2, 4
55	8, 11, 8	2, 4
56	9, 2, 2	2, 4
57	9, 4, 6	2, 4
58	9, 7, 0	2, 4
59	9, 9, 4	2, 4
60	10, 1, 8	2, 4

TABLEAU B. — Tableau des frais de traitement à retrancher de la valeur de l'unité de cuivre donnée par le tableau précédent.

(Valeurs d'avant-guerre)

POUR teneur de p. 100	DÉDUIRE par unité	
47,5	0 <sup>h</sup> ,0 1/2	Exemple : 103.416 <sup>kg</sup> de minerai à 9,875 p. 100 de cuivre (essai de Cornouailles) équivalent à 11,07 (essai électrolytique).
45	0,1	
42,5	0,1 1/2	Minerai..... 103.416 <sup>kg</sup>
40	0,2	1 p. 1000, tombée de balance..... 103
37,5	0,2 1/2	Reste..... 103.313 <sup>kg</sup>
35	0,3	Humidité 0,04 p. 100..... 41
32,5	0,3 1/2	
30	0,4	
27,5	0,4 1/2	103.272
25	0,5	$1.066,8 = 96,8 \times 11,09 = 1.073$ à déduire pour
22,5	0,5 1/2	draftage. Soit, à facturer net, 102.199 <sup>kg</sup> .
20	0,6	<i>Cours du Best selected</i> : £ 47,17 *
19	0,6 1/2	Valeur de l'unité de cuivre (Tableau A). £ 0,7.8,5
18	0,7	A déduire pour teneur de 9,875 p. 100
17	0,7 1/2	(Tableau B)..... 0.1.2,7
16	0,8 1/2	Reste..... £ 0.6.5,8
15	0,9 1/2	£ 0.6.5,8 × 9,875 = ..... 768 <sup>g</sup> ,2
14	0,10 1/2	Moins 6 p. 100 pour ramener à la tonne
13	0,11 1/2	anglaise..... 46
12	1,0 1/2	Moins 18 sh. pour teneur au-dessous de
11	1,1 1/2	15 p. 100..... 120
10	1,2 1/2	Total..... 602 <sup>g</sup> ,2
9,5	1,3 1/2	ou £ 2.10.2,2, valeur d'une tonne de 1.000 <sup>kg</sup> de minerai,
9	1,4 1/2	franco Swansea.
8,5	1,5 1/2	
8	1,6 1/2	
7,5	1,7 1/2	
7	1,8 1/2	
etc.	etc.	

### Marché des minerais et mattes de cuivre contenant des métaux précieux.

Le marché de ces matières a pris une grande extension, d'une part, par la mise en exploitation, dans le Nouveau Monde notamment, de grands gisements de cuivre argentifère, d'autre part, par les améliorations apportées dans le traitement de ces matières soit par voie



humide, soit par électrolyse. Il s'ensuit que les frais de séparation ont pu être considérablement diminués.

Les frais de désargement d'une matte cuprifère ne sont pas beaucoup plus élevés, du moins dans les teneurs supérieures à 1<sup>re</sup>,500 d'argent par tonne de matte, à ceux demandés pour la désargement d'un plomb de même teneur.

Les usines qui achètent ces matières cupro-argentifères sont les suivantes :

En France, les usines de Couëron, de Biache-Saint-Waast, d'Éguille :

En Allemagne, les usines des bords du Rhin qui reçoivent par Anvers ; les usines d'affinage de métaux précieux à Hambourg ;

En Angleterre, les usines de Swansea.

Voici comment s'établit la formule anglaise :

Le cuivre est payé, comme il a été dit plus haut, dans un minerai ordinaire. Tout l'argent contenu dans le minerai ou la matte est payé au cours du *Standard* (ou *Bar silver*) ou au cours du *Fine Silver*, suivant les conventions des parties. (Nous donnons plus loin, à propos des ventes de minerais de plomb argentifère, le détail complet de l'établissement du prix net de l'argent dans l'un et dans l'autre cas.) On prend généralement la moyenne des cours des métaux à payer, pendant un laps de temps déterminé avant la livraison : un mois est le terme adopté d'habitude.

Pour une teneur en cuivre comprise :

Entre 7 et 12 0/0 :	frais de désargement,	3 <sup>s</sup> /6	par unité de cuivre
— 12 et 16 —	—	3 <sup>s</sup> /0	—
— 16 et 20 —	—	2 <sup>s</sup> /9	—
— 20 et 28 —	—	2 <sup>s</sup> /7	—
Au delà de 28 —	—	2 <sup>s</sup> /6	—

Si le minerai ou la matte contient de l'or, on le paie d'après l'échelle suivante :

DIXIÈMES D'ONCE D'OR contenus dans une tonne de 20 quintaux (avant-guerre)	VALEURS de l'once d'or
5 dixièmes.....	70 shillings
6 — .....	71 —
7 — .....	72 —
8 — .....	73 —
9 — .....	74 —
1 once.....	75 —
5 onces et au delà.....	76 —

## Alliages de cuivre.

**Laitons.** — Ce sont les alliages CuZn dont le diagramme d'équilibre est représenté sur la figure 47. La teneur en cuivre des alliages industriels est supérieure à 50 0/0. Toutefois on utilise les alliages Zn = 88, Cu = 4, Al = 4 qui se moulent très bien sous pression.

De 100 à 63 0/0 de cuivre les laitons sont formés de la solution  $\alpha$ , de 63 à 54 0/0 de Cu on trouve la solution  $\alpha$  et la solution  $\beta$ , entre

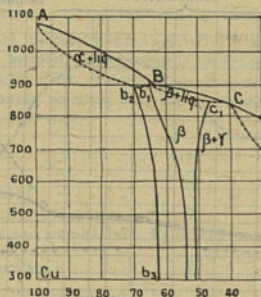


FIG. 47.

ces deux limites la proportion de  $\beta$  croît de 0, pour 63 de Cu à 100 pour 54 de Cu d'une façon proportionnelle à la teneur en cuivre, on peut alors par examen micrographique d'un échantillon recuit apprécier à 0,5 0/0 près la teneur en cuivre : pour 58,5 0/0 de Cu il y a égalité de  $\alpha$  et de  $\beta$ .

La figure 48 indique, d'après Guillet, la valeur des différentes caractéristiques mécaniques de laitons recuits lorsque la composition varie.

Le maximum de charge de rupture indiqué aux environs de Cu = 58 0/0 est anormal, il est dû à la fragilité des éprouvettes qui dans l'essai de traction, se rompent prématurément : étant donné que la dureté continue à croître pour des teneurs en Cu inférieures à 58 0/0, la charge de rupture doit en réalité croître elle aussi.

Sur métal recuit le rapport de la charge de rupture à la dureté est :

$$\frac{R}{\Delta} = 0,47 \text{ pour Cu compris entre } 100 \text{ et } 80;$$

$$\frac{R}{\Delta} = 0,50 \text{ pour Cu compris entre } 80 \text{ et } 62.$$

Le module d'élasticité varie de 10.000 à 12.500.

La densité varie de 8 pour Cu = 42 à 8,72 pour Cu = 90.

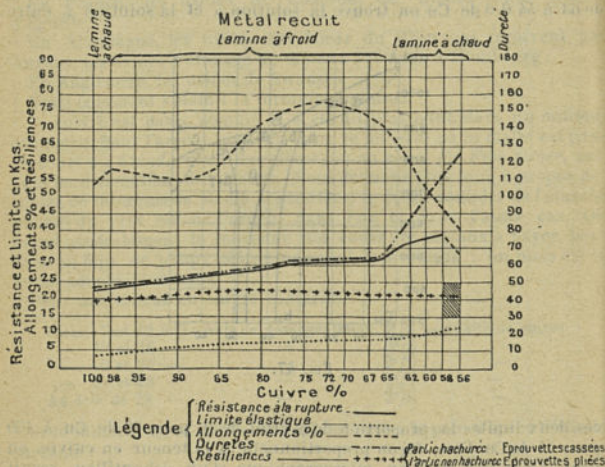


FIG. 48.

La couleur est rouge lorsque la teneur en cuivre est supérieure à 90 0/0 : elle devient or, aux environs de Cu = 85 à 80; jaune verdâtre, pour Cu = 75 à 70; or, pour Cu = 60; pour des teneurs en cuivre inférieures à 50 les alliages sont blancs.

**Laminage et forgeage des laitons.** — On lamine, on forge à froid les laitons lorsque la teneur en cuivre est comprise entre 100 et 60, on travaille à chaud ceux dont la teneur en cuivre varie entre 100 et 90 ou entre 64 et 53.



*Composition des principaux laitons industriels.* — Laitons pour barres et fils :

Cu	Zn	
90	10	peu utilisé : fil pour balles Lebel ;
88-92	10-6	bronze parisien (rose) avec Pb = 2 ;
83-85	17-15	tombac-similior, utilisé en fausse bijouterie ;
67	33	peu utilisé : vis à bois, quelquefois pièces estampées ;
62	38	alliage titre mixte ; fil cheville pour chaussures, pièces estampées ;
58-60	40-38	alliage deuxième titre ; laiton de décolletage normal avec Pb = 2.

Laitons pour planches :

Cu	Zn	
72	28	cliquant, cartouches en Angleterre, Allemagne, Suisse ;
67	33	alliage, premier titre, cartouche en France ;
65	35	alliage titre mixte : fabrication demandant de faibles déformations ;
60	40	métal Muntz, planches pour le découpage, autrefois doublage des navires en bois.

Laitons pour tubes :

Cu	Zn	
65	35	titre mixte ;
70	30	premier titre ;
60	40	en Amérique (coudes faits à chaud) ;

Laitons pour pièces moulées :

Cu	Zn	
66-67	34-33	Composition moyenne ;
90	10	laiton brasable des Compagnies de chemins de fer pour brides et raccords de tuyaux ;
70	30	valves et têtes d'échappements, colerettes de soupapes de sûreté, robinets des Compagnies de chemins de fer ;
63	37	rondelles et plaques indicatrices des Compagnies de chemins de fer.

Laitons pour brasure :

Cu	Zn	
67-70	33-30	pour braser le fer et l'acier, la fonte ;
53	47	— le laiton premier titre, le cuivre ;
40	60	— le laiton deuxième titre.

**Laitons spéciaux.** — Ce sont des alliages de cuivre et de zinc auxquels on a ajouté volontairement d'autres corps pour obtenir des propriétés particulières.

Le corps ajouté peut ne pas se mélanger aux autres métaux cons-

tituants; il s'isole entre les grains; c'est le cas du plomb que l'on introduit dans les laitons de décolletage pour faciliter leur travail aux machines-outils.

Le corps ajouté peut former une combinaison ou une solution de combinaison avec l'un des deux éléments constituants, par exemple, l'étain ou le phosphore: l'addition de ces corps augmente la dureté et la fragilité du laiton et peut en outre apporter une qualité intéressante: la résistance à la corrosion par exemple, ainsi que le fait l'étain.

Enfin le corps ajouté entre en solution dans les constituants de l'alliage et en améliore les propriétés mécaniques, lorsque les solutions sont saturées; il se forme alors un constituant spécial et l'addition ne devient plus intéressante.

Guillet a dans ce dernier cas introduit la notion si intéressante du titre fictif.

Lorsqu'un laiton est formé de deux constituants, le microscope permet d'en apprécier le titre. Le troisième corps qui entre en solution modifie l'aspect de l'alliage au microscope et on appelle *titre fictif* du laiton spécial, le titre du laiton ordinaire de même apparence au microscope: le titre réel est celui déterminé par l'analyse.

Le coefficient d'équivalence d'un corps est la quantité de zinc remplacée par 1 0/0 du corps, la composition de l'alliage étant ramenée à 100.

L'intérêt du titre fictif tient à ce que les propriétés mécaniques des laitons spéciaux sont en rapport direct avec leur structure; elles se rapprochent de celles du laiton ordinaire ayant pour titre réel le titre fictif de laiton spécial, mais avec une amélioration très nette.

Les laitons dont le titre fictif est compris entre 63 et 54 0/0 de cuivre sont seuls forgeables à chaud.

Soit A le titre réel en cuivre; B le titre réel en zinc; q la quantité du troisième corps ajouté; K son coefficient d'équivalence; A' le titre fictif en cuivre; B' le titre fictif en zinc.

On a les relations suivantes entre ces quantités:

$$q = \frac{100(A - A')}{A'(t - 1)},$$

qui permet de déterminer la quantité du corps dont on connaît le coefficient d'équivalence pour obtenir un titre fictif déterminé:

$$t = 1 + 100 \frac{A - A'}{qA'},$$

permet de déterminer t connaissant A et A'.

Valeurs du coefficient d'équivalence de quelques corps.

$$\text{Si} = 10, \quad \text{Al} = 6, \quad \text{Mn} = 0,5, \quad \text{Fe} = 0,9, \quad \text{Ni} = -1,3.$$

Lorsque  $t$  est supérieur à 1, le titre fictif est inférieur au titre réel et inversement lorsque  $t$  est plus petit que 1, le titre fictif est supérieur au titre réel.

**Laitons à l'étain.** — L'addition d'étain augmente un peu R, tandis que les allongements baissent. Au delà de 4 0/0 d'étain les alliages n'ont pas d'applications industrielles.

Composition courante :

$$\text{Cu} = 60 - 62, \quad \text{Zn} = 37 - 36,5, \quad \text{Sn} = 1 - 1,5$$

C'est le « Naval métal » pour pièces en contact avec l'eau de mer et l'eau ordinaire, il est utilisé notamment dans la fabrication des pompes.

Dans un laiton à solution  $\alpha$ , la quantité d'étain qui peut se dissoudre dépend de la teneur en zinc.

D'après Guillet, pour une teneur en Zn de :

30 ou 35 0/0,	la solution $\alpha$ dissout environ	1 0/0 d'étain	
20 0/0,	—	5	—
10 0/0,	—	7	—

Lorsque la solution  $\alpha$  est saturée, il se forme un constituant spécial qui rappelle le constituant  $\delta$  des bronzes.

Dans un laiton formé de  $\alpha$  et  $\beta$  : la solution  $\alpha$  dissout d'abord 0,7 0/0 d'étain environ, puis l'étain se porte sur  $\beta$  qui en dissout à peu près autant, ensuite se forme le constituant spécial qui envahit d'abord  $\beta$ , puis  $\alpha$ .

Ce constituant  $\delta$  apparaît en blanc bleuté après attaque au perchlorure de fer.

L'étain ralentit la corrosion du laiton par suite de la formation d'une couche protectrice d'un sel d'étain à la surface de la pièce.

**Laitons au manganèse.** — Le manganèse augmente R et surtout E, on n'observe le constituant spécial que pour des teneurs élevées en Mn = 8 0/0 de Mn pour 60 0/0 de Cu.

Les deux types principaux de laiton au Mn ont pour composition :

$$\begin{array}{lll} \text{Cu} = 59 - 60, & \text{Mn} = 1 \text{ à traces,} & \text{Zn} = 40 - 39, \\ \text{Cu} = 55 - 56, & \text{Mn} = 3 - 4, & \text{Zn} = 42 - 40. \end{array}$$

On les utilise en pièces moulées dans les constructions maritimes : confection des hélices, étambots, tubes lance-torpilles ; pour les pièces supportant de fortes pressions intérieures.

À l'état coulé on obtient couramment :

$$\text{R} = 35 - 40, \quad \text{E} = 15 - 20, \quad \text{A 0/0} = 15 - 25,$$

à l'état forgé IRIS LILLIAD Université Lille 1 us et de tiroirs,



frettes :

$$R = 40 - 45, \quad E = 20 - 30, \quad A \ 0/0 = 15 - 25.$$

En barres étirées pour boulons et rivets ;

En tôles laminées dans la construction des plaques soumises à des températures un peu élevées.

Le travail à chaud est aisé et permet facilement l'emboutissage et le cintrage.

Sur fils fins écrouis on arrive à une charge de rupture voisine de 100 avec une limite élastique de 80.

**Laitons à l'aluminium.** — Les propriétés d'un laiton à l'aluminium sont voisines de celles du laiton ordinaire ayant pour titre réel le titre fictif du laiton à l'aluminium mais avec une élévation notable de la limite élastique.

Pour des laitons à l'aluminium de même titre fictif  $R_1 E_1 \Delta$  sont d'autant plus élevés :  $A_1 \Sigma_1 S$  d'autant plus faibles que la teneur en Al est plus forte.

Compositions courantes :

$$\begin{array}{lll} \text{Cu} = 70 - 68, & \text{Al} = 1 - 3, & \text{Zn} = 31 - 27, \\ \text{Cu} = 64 - 66, & \text{Al} = 1 - 4, & \text{Zn} = 33 - 30, \\ \text{Cu} = 58 - 61, & \text{Al} = 0,3 - 1,5, & \text{Zn} = 40,5 - 37,5, \end{array}$$

R varie de 25 à 45 kilogrammes-millimètres carrés,

R peut atteindre 50,

R varie de 35 à 38 sur produit laminé recuit avec  $E = 10 - 12$  (bronze Roma).

Leurs emplois sont analogues à ceux des laitons en Mn.

**Laitons au fer.** — Le fer accroît la dureté, mais modifie très peu les autres propriétés des laitons de même composition sans fer.

Types principaux :

$$\begin{array}{lll} \text{Cu} = 60, & \text{Zn} = 38, & \text{Fe} = 2, \\ \text{Cu} = 55, & \text{Zn} = 43, & \text{Fe} = 2, \end{array}$$

R voisin de 50 — 55 kilogrammes-millimètres carrés pour métal forgé (métal Delta).

Ils se travaillent facilement vers 500°-600° et ont les mêmes emplois dans les constructions navales que les laitons au Mn et à Al.

**Laitons au nickel.** — Le nickel améliore surtout la charge de rupture et les allongements à condition que la composition du laiton soit telle que le titre fictif soit suffisamment relevé. Le matriçage de ces laitons doit se faire à une température plus élevée que celui des laitons ordinaires, vers 800°, parce que les propriétés à chaud sont améliorées par le nickel. La couleur est blanche sans reflets jaunâtres lorsque la teneur en cuivre descend au-dessous de 45 0/0 et que celle en nickel est supérieure à 12 0/0.

Il y a également augmentation de la résistance à la corrosion.  
Types courants :

		R	E	A 0/0	S	Δ
Cu = 50,3 Ni = 6,7 Zn = 43,0	Coulé.....	44,2	16,6	31,0	7,5	109
	Laminé et recuit.....	50,6	17,6	46,5	11,3	118
Cu = 46,3 Fe = 10,3 Zn = 43,4	Coulé.....	48,3	18,9	31,0	11,0	128
	Laminé et recuit.....	56,6	25,8	45,0	13,2	137
	Écroui.....	71,6		14,0	5,0	207
Cu = 40,4 Ni = 14,4 Zn = 45,2	Coulé.....	64,5	40,0	7,0	4,3	190
	Laminé et recuit.....	60,8	31,3	18,5	7,8	170

**Laitons nickel-manganèse.** — Ils ont été étudiés par Le Thomas qui préconise des additions de Ni = 5 et Mn = 3 avec un titre fictif variant de 62 0/0 à 56 0/0 de cuivre : pour un titre moyen de 59/41 on obtient :

R = 47, E = 29, A 0/0 = 27 à température ordinaire sur produit coulé,  
R = 44, E = 22, A 0/0 = 29 à 225° ;

à l'état forgé :

R = 50, E = 27, A 0/0 = 39 à température ordinaire,  
R = 45, E = 35, A 0/0 = 26 à 225°.

Il faut prendre des précautions pour forger et il est préférable d'utiliser ce laiton coulé. Il garde sensiblement les mêmes propriétés jusqu'à 400° à l'exception de la dureté qui diminue d'environ 25 0/0.

Il résiste bien à la corrosion dans l'eau douce, dans l'eau de mer, la vapeur, les acides étendus : sa résistance aux chocs répétés est un peu plus grande que celle de l'acier coulé.

Pour le fabriquer on fond sous une couche protectrice de borax ou de sel marin, le mélange de cupromanganèse et de cupro-nickel, on ajoute ensuite le laiton partie déchets, partie alliages préparés au titre 55/45. Lorsque tout est fondu, on ajoute la quantité de zinc qui résulte du calcul. On coule à 950°, la mesure de la température est importante : si l'on coule trop chaud, l'alliage est poreux.

## Bronzes.

**Bronzes ordinaires.** — Le diagramme des alliages cuivre-étain est représenté sur la figure 49. De 100 à 87 0/0 de cuivre ils sont formés par une solution solide unique, rarement homogène pour les bronzes bruts de coulée et qui ne le devient qu'à la suite d'un recuit prolongé. On peut trouver dans les produits bruts de coulée, à partir de 8 0/0 d'étain, un peu de constituants  $\delta$  qu'un recuit fait disparaître.

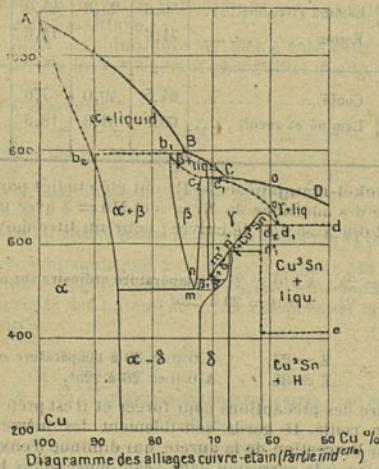


FIG. 49.

De 87 à 72 0/0 de cuivre les bronzes renferment deux constituants, la solution  $\alpha$  et la solution  $\delta$ ; cette dernière est dure et fragile: pour ces alliages longuement recuits, le microscope permet de définir la composition chimique.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

De 72 à 67 0/0 de cuivre, on trouve la solution  $\delta$ .



Propriétés mécaniques de quelques bronzes coulés en fonction de la composition :

Teneur en cuivre	R	E	A 0/0	S	$\Delta$
95	19		20	9	65
90	26	11	17	6	82
84	25	17	1,4	0	117
79	20	20	0	0	140

Dès l'apparition du constituant  $\delta$  les allongements diminuent rapidement tandis que les duretés augmentent : les résultats fournis pour R ne sont alors plus exacts.

Les bronzes renfermant moins de 13 0/0 d'étain sont seuls forgeables à froid, les bronzes formés de  $\alpha + \delta$  ne sont forgeables qu'à chaud en prenant de grandes précautions.

*Couleur.* — La couleur est rose lorsque la teneur en cuivre est supérieure à 95 0/0, elle devient or de plus en plus foncé quand la teneur en cuivre s'approche de 85 0/0 et devient de plus en plus pâle quand la teneur en cuivre diminue. A partir de 50 0/0 d'étain les alliages sont blancs.

La densité est voisine de 8,9 pour :

$$\text{Sn} = 4, \quad d = 8,947,$$

$$\text{Sn} = 10, \quad d = 8,93,$$

$$\text{Sn} = 15,67, \quad d = 8,87.$$

**Trempe des bronzes.** — Les bronzes à solution  $\alpha$  sont peu modifiés par trempe, ceux à deux constituants  $\alpha + \delta$  subissent des modifications.

D'après Guillet, on obtient les résultats suivants :

Cu	Sn	R	A	
79	21	20	0	avant trempe ;
		36	3	après trempe à 600° ;
87	13	23	3	avant trempe ;
		28	10	après trempe à 600° ;
91	9	25	16	avant trempe ;
		25	24	après trempe à 600°.

Composition des principaux bronzes industriels :

Cu	Sn	
97-92	3-8	médailles fausse bijouterie ;
95	5	pièces à décolleter, barres laminées et étirées, fils chrysocale ;
90	10	pièces mécaniques soumises à de gros efforts, engrenages ;
87	13	robinetterie, pièces mécaniques ;
88-80	12-20	bronze coussinets, d'autant plus durs qu'il y a plus d'étain ;
75-80	20-25	bronze à cloches ;
65	35	ancien bronze à miroir.

**Bronzes au plomb.** — Le plomb s'isole sous forme de globules qui facilitent le travail aux machines-outils et il détermine dans les pièces à frottement une auto-lubrification. Tant que la teneur en Pb ne dépasse pas 2,5 0/0, les propriétés mécaniques sont peu changées, au delà elles sont toutes diminuées.

La difficulté de fabrication des bronzes à haute teneur en plomb, utilisés dans les frottements, tient à la séparation du plomb dans l'alliage liquide par suite de sa non-miscibilité avec les autres métaux de l'alliage et à sa grande densité.

On remédie à cet inconvénient en coulant ces alliages très chauds ou en ajoutant du nickel qui augmente la solubilité du plomb et détermine aussi sa précipitation sous une forme plus divisée.

Principales compositions pour coussinets :

Cu	Sn	Pb	
84	8-12	8-4	} pour frottements doux sans chocs ;
77	15	8	
64	5	20	

lorsque les charges sont inférieures à 45 kilogrammes-centimètres carrés.

**Bronzes au phosphore.** — Le phosphore agit d'abord comme désoxydant et améliore les allongements et la résilience à condition qu'il n'en reste après désoxydation que des traces, moins de 0,01 0/0. Au delà de cette teneur, le phosphore forme avec le cuivre la combinaison  $Cu^3P$  dure et fragile : ces bronzes sont alors utilisés uniquement pour le frottement : la teneur en P ne dépasse pas 0,5 0/0.

Principaux types :

Cu	Sn	Pb	
95-96	5-4	traces	pièces à décoller, barres laminées, étirées ; bronze à soupape ; engrenages et pièces soumises à de gros efforts ;
93	7	traces	
89-90	11-10	traces	
82-86	18-14	traces à 0,25	coussinets soumis aux chocs et aux grosses fatigues.

Le phosphore est ajouté sous forme de phosphure de cuivre.

**Bronzes au zinc.** — Le zinc diminue le prix de revient et facilite la coulée ; il diminue la proportion du constituant  $\delta$  et augmente par suite la malléabilité des bronzes, tandis qu'il diminue leur résistance aux frottements.

On ajoute de 2 à 10 0/0 de zinc dans les bronzes mécaniques ; dans les bronzes à statues, on va jusqu'à 27 0/0.

**Autres bronzes.** — Le manganèse est peu intéressant, il est quelquefois ajouté au bronze à  $Cu = 90$  avec une teneur inférieure à 3 0/0.

Le silicium et l'aluminium sont utilisés comme désoxydants, il ne doit en rester que des traces.

## Alliages Cuivre-Aluminium.

Leur diagramme est représenté sur la figure 50. L'industrie utilise les alliages dont la teneur en cuivre est supérieure à 88 0/0 et ceux dont la teneur en cuivre est inférieure à 15 0/0. Ces derniers sont traités au paragraphe de l'Aluminium.

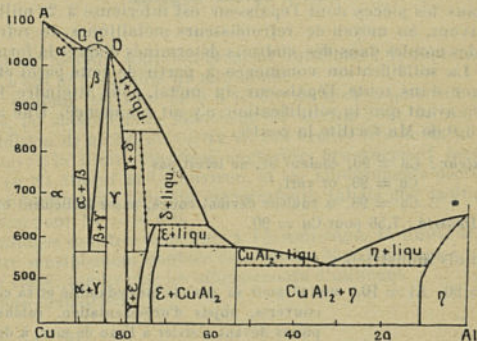


FIG. 50.

Les alliages riches en cuivre sont souvent appelés bronze d'aluminium. De 100 à 92 0/0 de cuivre ils sont formés de la solution  $\alpha$  malléable et ductile, ils se laminent et s'estampent à froid.

On obtient couramment pour Al = 7 sur produit laminé et recuit :

$$R = 38, \quad E = 9, \quad A \text{ 0/0} = 63.$$

De 92 à 88 0/0 de cuivre il y a deux constituants, la solution  $\alpha$  et la solution  $\gamma$  ; on peut estimer la composition chimique au microscope. On a l'eutectoïde pur ( $\alpha + \gamma$ ) pour Cu = 88 : pour Cu = 90 il y a  $\frac{2}{3}$  de solution  $\alpha$  pour  $\frac{1}{3}$  d'eutectoïde.

Ces bronzes à deux constituants se laminent et s'estampent à chaud entre 650° et 950°.

Pour Al = 10, on obtient couramment sur produit laminé et recuit :

$$R = 43, \quad E = 13, \quad A \text{ 0/0} = 45.$$



Ils prennent la trempe et leurs propriétés varient : pour Cu = 89,9, Al = 10,1.

On a :

R	A 0/0	
24,9	20	sur métal brut de coulée ;
33,9	17,5	après trempe à l'eau à 750° ;
35,9	7	après trempe à 850°.

Ces alliages sont difficiles à couler, ils contiennent des soufflures et de la retassure. Galibourg et Brisson ont réussi à éliminer la retassure dans les pièces dont l'épaisseur est inférieure à 20 millimètres en activant, au moyen de refroidisseurs métalliques, le refroidissement des moules dans des endroits déterminés d'après la forme de la pièce. La solidification commence à partir de cette paroi et doit se propager dans toute l'épaisseur du métal, pour atteindre la paroi opposée avant que la solidification n'y ait commencé. Une addition de 0,5 0/0 de Mn facilite la coulée.

*Couleur* : Cu = 90, couleur or, ne ternit pas :

Cu = 93, or vert ;

• Cu = 96, la couleur devient rouge, assez facilement oxydable ;

*Densité* : 7,56 pour Cu = 90.

Emplois industriels :

Cu = 90 Al = 10, utilisé pour sa grande inoxydabilité et sa couleur, couverts, objets d'ornementation, robinetterie, pièces devant résister à l'eau de mer, à des frottements sous pression peu élevée, aubes de turbines, plaques de foyer.

Cu = 91, Al = 8,25, Mn = 0,75, Monnaies françaises ;

Cu = 92-94, Al = 8-6, Miroirs et réflecteurs, généralement doré.

**Bronze d'aluminium au manganèse.** — L'addition de Mn augmente la charge de rupture et la limite élastique sans diminuer la ductilité. Ces bronzes résistent bien à l'eau de mer et à l'eau ordinaire.

Rosenhaim a obtenu les résultats suivants :

Al	Mn	R	E	A 0/0	
10,03	0,43	50,7	25	24	coulé en coquille ;
9,33	3,78	62,3	23,6	32	coulé en coquille ;
10,02	0,92	54,5	24,1	31	laminé et recuit à 800° ;
		71,7	38,6	11,5	
9,99	2,01	55,8	22,9	26,5	laminé et recuit à 800° ;
		81,9	39,8	3,5	

**Bronze d'aluminium au fer.** -- Le fer augmente la charge de rupture et la limite élastique sans diminuer la ductilité ; l'alliage Cu = 93-90, Al = 7-10, Fe = 1 à 4 coulé en coquille : a les caractéristiques suivantes : R = 54, E = 23, A 0/0 = 24.

### Alliages Cuivre-Nickel.

Les deux métaux sont entièrement miscibles : le liquidus et le solidus n'ont ni maximum ni minimum.

Leur couleur est rose de 0 à 15 0/0 de nickel, puis elle devient blanche, le maximum de blancheur est atteint pour Ni = 23 0/0. Une addition de nickel au cuivre en fait croître lentement la charge de rupture ; la limite élastique augmente brusquement lorsque la teneur en Ni atteint 20 0/0 environ, et les allongements décroissent.

La conductibilité électrique est minimum, tandis que la dureté est maximum pour Ni = 50 0/0.

Ces alliages sont très sensibles à l'écaillage, la limite élastique peut être sensiblement doublée et atteindre 30 kilogrammes par millimètre carré, tandis que les allongements diminuent.

Emplois industriels.

Cu	Ni	
98,5-97,5	1,5-2,5	boîtes à feu, entretoises de chaudières, ceintures d'obus ;
75-80	20-25	réflecteurs, ustensiles culinaires, monnaies ;
70	30	tubes de condenseurs ;
60-45	40-55	constantan ; pour résistances électriques (résistance en microm-centimètre carré centimètre 48 à 50 : coefficient) de température par degré = 0.000005.

### Alliages Cuivre-Nickel-Aluminium.

Gillet a trouvé qu'une faible addition d'aluminium aux cupro-nickel améliore considérablement leurs propriétés : R et  $\Delta$  croissent très rapidement avec la teneur en Al jusqu'à un maximum d'autant plus élevé que la teneur en Cu est plus basse.

Ce maximum a lieu pour une teneur en Al d'autant plus faible que la teneur en Cu est plus élevée.

L'alliage de composition :

$$\text{Cu} = 82, \text{IRIS} - \text{WILLIAD}, - \text{Université Lille 1} \text{Zn} = 0,3,$$

a pour caractéristiques :

R	A 0/0	$\Delta$	$\rho$	
58,6	5	191	6	coulé ;
79,8	11	250	6	forgé et recuit.

On utilise couramment dans la fabrication des aubes de turbines à grande vitesse, à vapeur surchauffée, les alliages dont la composition varie de

Cu = 79-82, Al = 2,5-11, Ni = 5-14,5 avec parfois Fe = 4 à 5.

**Maillechorts.** — Ce sont les alliages Cu-Ni-Zn. Le zinc permet d'abaisser le prix de revient des alliages cuivre-nickel sans nuire à leur inaltérabilité et à leur blancheur ; pour obtenir ce dernier résultat, il est inutile d'utiliser plus de 20 0/0 de nickel. Le zinc diminue la charge de rupture et la limite élastique des cupro-nickel sans en diminuer sensiblement la malléabilité. Les maillechorts ne sont formés que d'un seul constituant et ne se laminent qu'à froid.

Emplois industriels.

Pour emboutissage, cuillers, fourchettes, vaisselles, pièces mécaniques résistant à l'eau de mer.

Cu	Ni	Zn	
60	20	20	extra-blanc ;
55	20	25	
60	10	30	$\frac{1}{2}$ blanc ;
50	18	32	

pour décolletage on ajoute environ 2 0/0 de plomb aux alliages précédents pour faciliter le travail au tour.

Une composition fréquente de maillechort de décolletage est :

Cu = 72-70, Ni = 6-8, Zn = 20, Pb = 2 ( $\frac{1}{2}$  blanc).

**Maillechorts complexes :**

Cu = 35-30,	Ni = 25-30,	Ag = 20-30,		Ruolz ;
Cu = 55,	Ni = 23,	Zn = 17,	Fe = 3, Sn = 2,	Argentail ;
Cu = 60,	Ni = 14,	Zn = 25,	W = 1,	Platinoïde ;
Cu = 65,5	Ni = 13,	Zn = 19,5,		Alpakka ;
Cu = 50-70 ;	Ni = 10-25,	Zn = 5-30,		Argentan.

**Monel.** — C'est un alliage préparé directement à partir de minerais canadiens : sa composition est la suivante :

Cu = 28-30, Ni = 66-67, Fe = 3-3,5.

Point de fusion..... = 1.360° ;

Température de coulée = 1.500°



Densité.....	= 8,82 ;
Retrait au moulage.....	= 2,8 millimètres par mètre ;
Résistivité.....	= 4,8 microms-centimètre carré par centimètre ;
Conductibilité thermique..	= $\frac{1}{15}$ de celle du cuivre ;
Coefficient de dilatation..	= 0,0000137 par degré C.

R	E	A	$\Delta$	$\epsilon$	
30-40	14-20	10-20	120-140		Brut de coulée
60-66	27-33	51-36	100-130	33	Laminé à chaud
76	72	12		15,9	Laminé à froid

Module d'élasticité = 20.000.

Il conserve des propriétés mécaniques intéressantes à température élevée : à 400° le monel forgé a une charge de rupture voisine de 55 kilogrammes par millimètre carré contre 8 pour le bronze ordinaire. Le forgeage doit être exécuté entre 1.050° et 1.100°, le recuit entre 800°-825°.

Le monel offre une grande résistance à la corrosion à l'eau de mer, à la vapeur surchauffée, aux liqueurs acides sauf l'acide nitrique ; emplois industriels : dans les constructions navales, hélices, condenseurs, organes de pompes, soupapes, ressorts travaillant à températures élevées, cuves et appareils de teinturerie.

### Alliages de cuivre et de manganèse.

Cu = 70-65, Mn = 30-35, cupro-manganèse, pour introduire Mn dans les alliages de cuivre ;

Cu = 70, Mn = 30, Fe = 0,3-1, résistances électriques ;  
 Cu = 70-85, Mn = 12-25, Ni = 2-5, manganins : résistivité = 42 à 48 microms-centimètre carré par centimètre ; coefficient de variation 0,00001 ;

Cu = 48, Mn = 10, Ni = 39, résistivité = 70 microms centimètre carré par centimètre :  
 coefficient de variation aux basses températures, nul ;

Cu = 95,5, Mn = 4,5, barres d'entretoises de foyers de locomotives R = 24.  
 A 0/0 = 42,5,  $\rho$  = 34 laminé.

### Alliages de cuivre et de silicium.

Cu = 80 ou 65 ou 50, cupro-silicium : addition finale pour alliages de cuivre.  
 Si = 0,05 à 0,02, fils électriques de téléphone : conductibilité électrique 70 à 98, celle du cuivre étant égale à 100.  
 La charge de rupture de Cu est augmentée sans diminution des allongements.

### Plomb.

Les minerais de plomb se divisent en deux classes

*Minerais oxydés* (carbonate et sulfate) ;

*Minerais sulfurés* (galène).

Les minerais sulfurés sont beaucoup plus répandus que les minerais oxydés. Ceux-ci se rencontrent, en général, à l'affleurement (chapeau de fer) des gîtes de plomb et disparaissent en profondeur pour faire place à la galène, fréquemment associée à la pyrite de fer et à la blende.

Les minerais oxydés donnent du plomb par simple fusion au four à manche avec ou sans fondants, selon la nature des gangues. Leur traitement est facile. Il est avantageux, lorsqu'il est possible de le faire, de mélanger ces minerais oxydés aux minerais sulfurés crus en vue de leur traitement par l'une des méthodes ci-dessous décrites.

Les minerais de plomb se traitent, suivant leur richesse et leur nature, par l'une des trois méthodes suivantes :

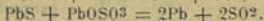
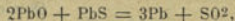
*Méthode par grillage et réaction ;*

*Méthode par grillage et réduction ;*

*Méthode par précipitation.*

**Méthode par grillage et réaction.** — Elle s'applique aux minerais de plomb riches et *peu siliceux*. Elle convient tout spécialement aux galènes argentifères, donnant des plombs à 1<sup>er</sup>,500 et au delà.

Elle est basée sur les deux réactions suivantes :

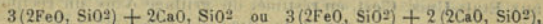


On opère dans un four à réverbère. La galène provenant généralement de l'enrichissement mécanique se présente sous forme de *schlichs* qu'on égalise sur la sole sur une épaisseur de quelques centimètres. On commence par la griller à basse température, de manière à en transformer une portion suffisante en oxyde et en sulfate, puis on élève la température pour produire la réaction des corps oxydés formés sur le sulfure resté intact. Le plomb est recueilli sur les parties déclinées de la sole du four et, après épuisement par *ressuage*, les scories sont retirées et passées au four à manche, car elles sont trop riches pour être rejetées.

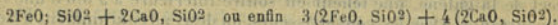
Le plomb ainsi obtenu entraîne la majeure partie de l'argent contenu. Lorsque le minerai est très argentifère, il convient d'abaisser son titre en mélangeant une certaine proportion d'*alquifoux*, galène pure non argentifère, afin de diminuer les pertes.

**Méthode par grillage et réduction.** — C'est le procédé le plus généralement employé. La galène est grillée soit au four à réverbère, soit au convertisseur. Cette dernière façon d'opérer tendant de plus en plus à se substituer à la première, elle sera décrite en détail ci-dessous. Le minerai doit être grillé aussi complètement que possible afin d'éviter la formation de mattes et de speiss. Lors du traitement ultérieur au four à cuve, les speiss, qui viennent se réunir dans le creuset, au-dessus du plomb, contiennent, outre une certaine proportion de plomb, les métaux étrangers, notamment le cuivre et le nickel, ainsi que la majeure partie de l'arsenic. On peut considérer le plomb qu'ils contiennent comme perdu, et il vaut mieux chercher à vendre ces matières aux affineurs de cuivre que d'essayer de les griller et de les repasser indéfiniment, comme on le fait trop fréquemment.

Le minerai grillé est mélangé au coke et aux fondants nécessaires (chaux et minerai de fer, cendres de pyrites généralement) en vue de l'obtention d'une scorie fluide et légère de densité 3,5 environ. La composition habituelle de ces scories est donnée par l'une des formules suivantes :



ou



La charge ainsi préparée est fondue au four à cuve; on utilise des water-jackets qui ne diffèrent de ceux employés dans la métallurgie du cuivre qu'en ce qu'ils sont moins hauts, la température étant plus localisée; ils sont munis de tous les perfectionnements des water-jackets à cuivre. Les derniers fours construits par la Compagnie française du Laurium ont les caractéristiques suivantes :



	PREMIER TYPE	DEUXIÈME TYPE
Section aux tuyères.....	1 <sup>m</sup> .22 × 4 <sup>m</sup> .06	1 <sup>m</sup> .22 × 4 <sup>m</sup> .14
Hauteur.....	6 mètres	6 mètres
Capacité par 24 heures.....	300 tonnes	400 tonnes

Dans la fusion du plomb, il y a formation de quatre produits : plomb métallique, matte, scories et speiss (ce dernier bien moins fréquemment que la matte). Ces produits se séparent par ordre de densité dans le creuset qui est placé suivant l'axe du four ; le plomb qui se trouve au fond est extrait par siphonnage au moyen d'un conduit partant du fond du creuset et l'amenant dans une cuve placée devant le four (dispositif d'Arents). Les autres produits coulent dans un avant-creuset, constitué parfois par un simple pot à scorie. Le pot une fois rempli est abandonné au refroidissement. Au cours de la solidification, les divers éléments se séparent par ordre de densité ; on concasse le pain pour trier les scories, les mattes et les speiss.

Dans certaines usines modernes, la scorie qui est la plus légère s'écoule par déversoir de l'avant-creuset, et est granulée comme les laitiers de haut fourneau.

Le chargement des fours à cuve se fait encore généralement à la main ; cependant on a tendance à employer le chargement automatique, la charge arrivant dans des wagonnets de forme spéciale dont les orifices de déchargement s'adaptent exactement sur les ouvertures du gueulard.

**Grillage au convertisseur.** — Ces convertisseurs n'ont de commun que le nom avec ceux employés dans la sidérurgie ou dans le traitement des minerais de cuivre ou de nickel. On n'y fait que de l'oxyde et non du métal ou des sulfures.

*Convertisseurs à plomb.* — Ces appareils, créés aux usines de Pertusola (Italie) après de longues recherches, se sont rapidement développés aux États-Unis. C'est, en résumé, un grillage dans un récipient soufflé, en présence de chaux et de silice.

Aux usines de Pertusola, on n'arrivait pas à obtenir, par grillage direct de la galène, une teneur en soufre inférieure à 5 0/0 d'une façon constante. Avec les convertisseurs, on descend couramment à 3 ou 3,50 de soufre dont 1,50 se trouve à l'état de sulfate. Certains minerais permettent même d'avoir 1 0/0. Montés pour la première fois en 1898 à Pertusola, les convertisseurs furent appliqués en 1900 à l'importante usine de Braubach. Depuis cette époque, le traitement par soufflage obtint un succès extrêmement rapide et l'on peut dire qu'actuellement on grille ainsi la presque totalité de la galène.

Le « convertissage » peut être fait par trois procédés que nous allons étudier par ordre d'importance :

*Procédé Huntington-Heberlein.* — C'est celui monté à Pertusola et qui a servi de point de départ aux progrès que nous étudions plus loin.

On le désigne souvent dans l'industrie par les initiales H-II.

L'opération comprend deux phases : un grillage préliminaire, un grillage définitif.

Le grillage préliminaire se fait généralement dans des fours à sole tournante, tel que le four Heberlein.

Aux usines de Bindsfeldhammer, près de Stolberg, le grillage préalable se fait dans des fours Heberlein, dont la sole tourne à une vitesse de 1 tour en 142 secondes : la capacité du four est de 40 tonnes (de mélange). La matière fait 22 tours avant de sortir de l'appareil.

Ce grillage préliminaire n'a lieu qu'après addition de chaux au minerai et l'on apporte les plus grands soins au mélange.

A Bindsfeldhammer, le mélange est fait près des cases à minerais, et le transport aux fours Heberlein situés à une certaine distance, de l'autre côté d'une route, se fait par toile et wagonnets suspendus.

Les proportions adoptées sont les suivantes : 100 parties de minerai ; 22 de carbonate de chaux et 5 de silice ; le minerai ayant pour composition : Pb = 60-70 0/0 ; S = 13-14 0/0 ; Fe = 3 ; SiO<sup>2</sup> = 3 à 4 ; Zn = 5-6.

A Munsterbuch, on ajoute 12 0/0 de carbonate de chaux et 9 0/0 de silice à 79 0/0 de minerai, lequel se compose de : Pb = 42, SiO<sup>2</sup> = 5, Zn = 12, Fe = 1,5, S = 17, en moyenne. Avant le mélange, le minerai est concassé à environ 8 millimètres.

Dans cette opération du grillage préliminaire, la teneur en soufre, qui était initialement de 14 à 18 0/0, tombe à 8 ou 10 0/0, arrive même à n'avoir plus que 2 à 2,5 0/0 de soufre à l'état de sulfate et presque complètement sous forme de sulfate de chaux, 7 à 8 0/0 à l'état de sulfure.

La consommation de charbon est de 6 0/0 de la charge. La température du laboratoire est de 800-900°. Le produit obtenu est absolument granulé.

La seconde phase du procédé Huntington-Heberlein est celle du convertissage proprement dit.

On a pensé que la chaux intervenait pour donner naissance à du plombate de calcium, mais il paraît très probable que la chaux n'intervient ici que comme produit neutre servant à diluer le soufre et empêcher, par conséquent, la prise en masse, qui s'opposerait au passage de l'air et arrêterait l'opération.

Cependant la chaux a un autre rôle qui paraît fort important ; elle forme avec la silice renfermée dans le lit de fusion un silicate qui donne à la masse une résistance à la compression élevée et la rend particulièrement propre à la réduction au water-jacket.

Il paraît d'autant mieux prouvé que la chaux n'intervient pas dans le convertissage par formation d'un plommate de calcium, que l'on peut aisément remplacer cette matière par des produits qui ne peuvent jouer que le rôle de matière neutre; nous citerons la magnésie, les oxydes de fer ou même certains composés de plomb: sulfate, carbonate, oxyde.

Notons bien que cette substitution n'a pas été faite seulement dans des essais de laboratoire, mais qu'elle est bien usitée de façon courante dans diverses usines. Il en est même une, au moins, qui, de par la composition même de son lit de fusion, lequel renferme du carbonate de plomb, n'a besoin d'aucune addition.

Examinons maintenant la forme et les dimensions des appareils ainsi que la disposition d'ensemble des ateliers de convertissage. Nous étudierons ensuite les résultats obtenus.

Les appareils utilisés étaient, au début, de faible capacité, 1 à 3 tonnes; actuellement, on utilise des convertisseurs de 10 à 15 tonnes.

Leur forme était généralement conique, quelquefois en forme de

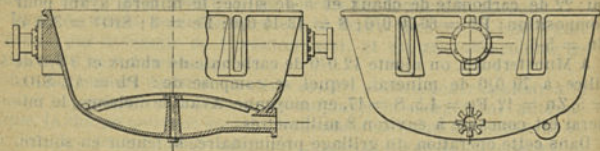


Fig. 51. — Convertisseur pour galène.

poire. Ils étaient le plus souvent montés sur chariot, pour pouvoir être conduits au four de premier grillage, recevoir la matière première et à l'aire du concassage pour déverser le produit.

L'arrivée de l'air comprimé se fait au fond de l'appareil par un raccord que l'on peut joindre très rapidement à la tuyauterie générale d'air comprimé qui dessert l'atelier. L'air arrive sous une grille dont la forme et la répartition des trous a une grande importance. Dans le type du Laurium, la grille est bombée.

Dans les installations tout à fait modernes, on emploie le type de convertisseur utilisé dès le début de son procédé par Savelsberg; on en a modifié seulement les dimensions et le montage.

Cet appareil est constitué par une vaste cuve avec faux fond percé, formant grille; l'air comprimé arrive en dessous par un ajutage toujours facile à raccorder avec la canalisation d'air comprimé. La figure 51 représente un tel convertisseur.



En Amérique, on emploie aussi des cuves moulées en une seule pièce ayant généralement un diamètre de 3<sup>m</sup>,60 et une profondeur de 1<sup>m</sup>,40 ; la grille se trouvant à une hauteur de 35 à 40 centimètres du fond ; les ouvertures de la grille sont coniques avec un diamètre de 10 millimètres à la plus grande base. Un tel convertisseur a une capacité de 8 à 10 tonnes.

Actuellement on utilise des pots de plus grande capacité et, dans sa récente étude, Hoffmann indique que les appareils les plus modernes ont un diamètre de 3 mètres et une profondeur d'environ 0<sup>m</sup>,90, ce qui correspond sensiblement à une capacité de 15 tonnes. D'ailleurs, la cuve est coulée en quatre segments que l'on boulonne en rendant les joints étanches avec de l'amiante. On a ainsi des ruptures beaucoup moins fréquentes.

Dans les nouvelles installations américaines, et même dans celles que l'on envisage actuellement en Europe, notamment au Laurium, on ne fait plus de convertisseurs montés sur chariot. Ils reposent simplement par deux tourillons sur un support fixe. Pour les décharger, on les prend avec un pont roulant, on les entraîne à l'aide de crochets et on les bascule au-dessus d'une fosse ; on évite ainsi, du moins en partie, l'opération dangereuse du concassage dont nous parlons plus loin. Dans une usine américaine, au milieu du chargement, on ajoute une couche de chaux qui ne nuit pas à l'opération et crée un plan suivant lequel le pain grillé se brise aisément au renversement du convertisseur.

L'organisation d'un atelier utilisant le procédé Huntington-Heberlein est facile à concevoir :

Les convertisseurs sont placés en ligne ; une conduite générale d'air comprimé permet, grâce à des raccords faciles à établir, de desservir tous ces appareils ; des hottes facilitent l'entraînement des gaz et poussières qui s'échappent et les conduisent aux chambres à poussière.

En avant de la ligne des convertisseurs ou sur le côté se trouvent les fours de premier grillage ; des rails permettent de conduire aisément les convertisseurs montés sur chariot au four pour recevoir le produit partiellement désulfuré, dans le cas de pots de faible tonnage.

Si le convertissage se fait en grande masse (plus de 5 tonnes), le produit est apporté, généralement par des moyens mécaniques, à la ligne de convertisseurs ; ceux-ci sont alors déchargés, comme nous l'avons dit, par pont roulant sur des fosses spéciales ; dans ce cas, les hottes doivent être amovibles pour permettre la manœuvre aisée des engins de levage.

Examinons maintenant les résultats d'une opération faite par le procédé Huntington-Heberlein.

Ainsi que nous l'avons dit, l'intérêt du convertissage réside surtout dans une désulfuration beaucoup plus complète que dans les autres

procédés de grillage. Nous avons fait ressortir l'importance de ce fait qui diminue singulièrement les mattes produites et, par conséquent, la quantité de matières qui doivent être repassées au water-jacket.

De plus, le convertissage prépare à l'opération de la réduction : le produit du grillage possède, d'une part, une porosité qui permet aux réactions de s'opérer plus facilement, et, d'autre part, une résistance à l'écrasement qui diminue la quantité de poussières produites et, par conséquent, les pertes par entraînement. Ceci provient des additions faites et de la formation de silicate de chaux.

Nous avons déjà signalé les additions qui étaient faites au minerai avant le premier grillage et les résultats de cette première opération. La matière contenant 7 à 8 0/0 de soufre est placée chaude dans le convertisseur ; l'air est soufflé.

A Munsterbuch, alors que le premier grillage dure 1 heure, l'opération dans les pots qui ont une capacité de 1 1/2 tonne, demande 3 à 4 heures, la pression de l'air étant de 80 millimètres d'eau.

On obtient dans cette usine une teneur finale en soufre de 1,3 à 1,8 0/0, la teneur initiale du minerai étant aux environs de 16 0/0.

On peut dire d'une façon générale que le soufre total tombe, après convertissage, au-dessous de 3,5, souvent à 2 0/0 parfois à 1,5, comme à Munsterbuch. Il s'ensuit qu'au water-jacket on obtient couramment 2 à 2,5 0/0 de mattes ; quelquefois il ne s'en forme pas du tout ainsi que nous l'avons constaté dans une usine allemande ; ajoutons qu'avec les anciens procédés, on en avait 10 à 15 0/0 de poids de la charge.

Pour cette raison et aussi par suite de la diminution des poussières qui peuvent prendre naissance dans la réduction, on note une augmentation de capacité du four à cuve qui atteint et dépasse souvent 50 0/0.

De plus la scorie du water-jacket est plus pauvre en plomb ; d'où moins de pertes, moins de matières à faire repasser au four.

D'ailleurs, pour montrer l'intérêt du procédé, on ne peut mieux faire que rappeler les chiffres donnés par M. Biernbaum, lesquels ont trait au nombre de fours à cuves nécessaires pour traiter par an 50.000 tonnes de minerai :

1°	Avec les produits grillés au réverbère :	14 fours à 3 tuyères
2°	— du procédé H-H	7 — à 3 —
3°	— —	4 — à 8 —
4°	— —	1 — a 15 —

On voit donc l'influence et du procédé de grillage et des dimensions du water-jacket.

Quant au prix de revient, nous en parlerons en détail un peu plus loin.

*Procédé Savelsberg.* — La caractéristique de ce procédé est d'utiliser le minerai cru ; il n'y a donc pas ici de grillage préalable ; mais il faut se préoccuper de deux points : amorcer la réaction par une source de chaleur, en l'occurrence un lit de coke ; empêcher une élévation de température telle qu'il y ait fusion.

Nous avons déjà indiqué la forme du convertisseur utilisé par Savelsberg dans ses usines de Munsterbuch, où le procédé a été installé par son inventeur ; elle s'est, en somme, généralisée pour les autres procédés.

Le minerai est additionné tout d'abord de carbonate de chaux et de silice ; nous ferons remarquer que, dans les usines qui emploient simultanément les deux procédés Huntington-Heberlein et Savelsberg les mêmes proportions sont utilisées pour l'une ou l'autre méthode. Au moment même de la charge, on ajoute une quantité d'eau telle que, serrée dans la main, la matière reste compacte, tout comme du sable de fonderie bien préparé. L'effet de la vaporisation de l'eau doit s'ajouter ici à celui du carbonate de chaux pour absorber une certaine quantité de chaleur et empêcher la masse d'arriver à la fusion. Sur la grille, on charge tout d'abord, en vue d'amorcer la réaction, une couche de charbon porté préalablement au rouge, puis une faible épaisseur de minerai. On fait passer l'air comprimé et l'on ajoute peu à peu la matière à griller. L'opération est beaucoup plus lente que dans le procédé Huntington-Heberlein et paraît demander plus de soins. A Munsterbusch, avec le minerai indiqué précédemment et une pression de vent de 80 millimètres d'eau, on passe 6 tonnes de minerai en 18 heures. On obtient finalement, au dire des exploitants, 1,8 0/0 de S. D'ailleurs, ce procédé ne s'applique pas à tous les minerais, et nous pourrions citer plusieurs sociétés qui n'ont pu l'utiliser ; d'autres l'emploient avec des variations dans les additions ; quelques-unes peuvent même passer les minerais purs, par suite de leur heureuse composition, ainsi que nous l'avons déjà dit.

Il ne donne de bons résultats qu'avec des galènes assez pures, ne contenant pas de pyrites de fer.

*Procédé Carmichael-Bradford.* — Ce procédé n'est utilisé, croyons-nous, qu'à Broken-Hill (Australie). On emploierait le minerai cru comme dans le procédé Savelsberg ; mais on ajouterait au minerai du gypse dans une proportion d'environ 35 0/0. L'avantage de cette façon d'opérer résiderait en ce que les gaz pourraient être utilisés pour la fabrication de l'acide sulfurique, étant assez riches en anhydride sulfureux.

Il a été indiqué qu'un minerai renfermant 14 0/0 de soufre donnerait, par 100 tonnes, 30 tonnes d'acide sulfurique à 52° Baumé.

Les appareils utilisés sont du type déjà décrit ; leur capacité est de 4 tonnes ; leur diamètre supérieur de 1<sup>m</sup>,80 ; leur profondeur de 1<sup>m</sup>,50. La teneur finale en soufre serait de 4 0/0.



En résumé, il existe trois procédés de traitement des minerais sulfurés de plomb au convertisseur. Ce sont :

1° Le procédé Huntington-Heberlein : emploi de minerai partiellement grillé après addition de carbonate de chaux et de silice ;

2° Le procédé Savelsberg : emploi de minerai cru, avec addition de carbonate de chaux, d'eau et de silice ;

3° Le procédé Carmichaël-Bradford : emploi de minerai cru avec addition de gypse ; il y a ici récupération de  $\text{SO}_2$ , ce qui n'est pas dans les autres procédés.

**Procédé de grillage par aspiration.** — Ces procédés ont pris naissance en Amérique ; ils ont été singulièrement perfectionnés en Allemagne, où ils ont pris leur forme définitive.

Ils sont caractérisés non seulement par leur marche en aspiration, mais aussi par la faible épaisseur de matières soumises à l'action de l'air et par la continuité de l'opération. Le professeur Hoffmann a démontré que, dans un convertisseur, la réaction se propage lentement de bas en haut ; une tranche horizontale déterminée voit sa température augmenter avec une faible vitesse ; mais, aux environs de 800 à 900°, la température se met à croître très rapidement ; tranche n'est maintenue à la température maximum que pendant un temps extrêmement court, une à deux minutes ; puis elle se refroidit.

Le 30 novembre 1909, M. von Schlippenbach, directeur des usines de Bindfeldhammer, près de Stolberg, prend un brevet pour l'utilisation des gaz sulfureux.

Il a l'heureuse idée de recueillir le gaz sulfureux pendant la période de grillage, de le séparer suivant le degré de concentration et, par conséquent, selon la situation des cuves, celles dans lesquelles le grillage commence donnant un gaz sulfureux beaucoup plus riche qui peut être utilisé de suite pour la fabrication de l'acide sulfurique.

Peu à peu, on arrive ainsi à l'appareil tel qu'il est utilisé actuellement dans différentes usines, notamment à Bindfeldhammer.

Cet appareil est constitué par une table annulaire horizontale, qui tourne autour de son axe vertical, en étant guidé par des galets tout le long de sa périphérie. En réalité, c'est un véritable anneau formant une grande auge dont la section est celle d'un trapèze. Le fond de cette auge est constitué par une grille en fonte dont nous étudierons plus loin la forme avec quelques détails.

Sous la grille se trouve un espace qui prolonge en quelque sorte l'auge, et qui est séparé en compartiments par des cloisons verticales étanches ; sa section est rectangulaire. Chaque compartiment est relié par un tube à une cloche, laquelle communique par un conduit unique au ventilateur.

Il y a deux points à examiner attentivement : le mouvement des matières, la marche des gaz. Voyons d'abord ce qui se passe pour le minerai.

Dans le fonctionnement actuel de l'appareil, le minerai subit un premier grillage, tout comme pour le procédé Huntington-Heberlein, après les additions de chaux et de silice que nous avons déjà indiquées.

La matière qui sort des fours du premier grillage (à Bindsfeld-hammer, ce sont des fours Heberlein) est divisée en deux parties : l'une est refroidie à la sortie du four et placée ensuite dans l'une des trémies qui dessert la table ; l'autre, encore chaude, est montée automatiquement dans la seconde trémie de la même table.

L'auge formant la table arrive vide sous la première trémie qui contient le minerai froid, s'en remplit partiellement, et cette matière se trouve en contact avec la grille ; le mouvement de rotation continuant, une couche de minerai partiellement grillé et encore chaud vient recouvrir la première épaisseur. On a ainsi résolu fort élégamment la question de l'allumage, assez délicate en pratique, en supprimant les trémies pour matières chaudes qu'on a remplacées par des petits fours d'allumage qui se chauffent avec des déchets de coke. On obtient ainsi une marche plus régulière et la production de fines est encore diminuée.

Puis ensuite, la table tournant toujours, l'aspiration commence : peu à peu la température va en augmentant de la surface à la grille ; au bout d'un certain temps, le minerai est grillé, il n'y a plus alors qu'à l'enlever. Ce déchargement se fait automatiquement, par une grille qui relève le minerai, l'oblige à passer sur une espèce de pont et le force à se déverser hors de l'appareil. On le reçoit dans des wagonnets. Les grilles deviennent alors entièrement libres et elles font ainsi un assez long parcours avant de recevoir de nouveau du minerai ; on a donc tout le temps pour les examiner avec soin, les ringarder, s'il est nécessaire, pour enlever les parties de minerai ou de métal qui peuvent l'obstruer.

La matière sort, d'ailleurs, en galettes résistantes et poreuses, présentant par conséquent les meilleures conditions pour le passage au four à réduction.

La grille est certainement la partie délicate de l'appareil : on pourrait craindre qu'elle ne s'altère rapidement sous l'influence de la température relativement élevée qui se développe pendant le grillage et même des éléments constituant le lit de grillage. Il n'en paraît pas être ainsi ; la grille est en fonte épaisse ; la forme des trous a été modifiée : ils étaient d'abord constitués par des petites rainures de 8 millimètres d'ouverture et quelques centimètres de longueur et de section rectangulaire. Actuellement ces rainures sont fort longues : 200 à 300 millimètres, ceci pour les rendre plus aisées à nettoyer ; leur section n'est plus rectangulaire, mais elle est constituée à la partie supérieure par un tronc de cône et à la partie inférieure par un cylindre.

On peut ainsi dégager plus facilement les portions de métal ou de minerai qui peuvent adhérer à la grille.

Examinons maintenant la marche des gaz : nous avons vu que le principe est de recueillir les gaz qui s'échappent pendant le grillage et de les séparer suivant leur degré de concentration en acide sulfureux pour utiliser la partie la plus riche à la fabrication de l'acide sulfurique.

Il faut donc tout d'abord qu'il n'y ait aspiration que pendant le grillage, c'est-à-dire que dans les cuves contenant le minerai. Sans cela, de l'air viendrait diluer les gaz recueillis. Pour cela, les tubes qui réunissent les compartiments situés au-dessous de l'auge à la cloche débouchent tous dans un plateau qui forme le fond de cette cloche et qui tourne avec la table. La fermeture de la cloche qui, elle, est fixe, se fait par joint liquide.

Pour que l'air ne rentre pas dans la cloche, il faut que les tubes soient fermés, lorsqu'ils arrivent dans la position qui correspond à celle où l'auge ne contient plus de minerai. Une plaquette, fixée à la paroi de la cloche et par conséquent immobile, bouche hermétiquement toutes les ouvertures des tubes qui correspondent à cette portion du mouvement de la table.

D'autre part, il faut séparer les gaz riches en  $\text{SO}_2$  qui se dégagent au début du grillage et qui peuvent être utilisés directement pour la fabrication de l'acide sulfurique, des gaz plus pauvres qui prennent naissance à la fin de l'opération et sont renvoyés à la cheminée.

Pour cela la cloche est divisée par une cloison verticale en deux compartiments : l'un correspond au parcours de la table dans les premières périodes du grillage, l'autre à la fin ; la première est en relation directe avec les appareils de fabrication d'acide sulfurique (à Bindsfeldhammer, il s'agit de la fabrication par contact), l'autre communique avec la cheminée.

Dans l'appareil actuel, chaque aspirateur est pourvu de deux tubes au lieu d'un seul. L'un de ces tubes est utilisé pour entraîner les gaz riches en  $\text{SO}_2$  ; l'autre pour enlever les gaz pauvres qui vont directement à la cheminée. Le plateau, formant le dessous du gazomètre, porte deux plaques fixes qui viennent obturer la première ou la seconde série de tuyaux ; la série des tubes qui servent à évacuer les gaz riches sont ouverts au début du grillage, tandis que les autres sont fermés ; c'est l'inverse au moment où le grillage est avancé et que les gaz produits sont pauvres.

On voit combien cet appareil est simple, et l'on conçoit les avantages qu'il présente sur les convertisseurs ; ici il n'y a plus aucun concassage dangereux pour les ouvriers ; la matière paraît plus homogène et mieux préparée à la réduction, parce que plus poreuse, bien que fort résistante ; enfin, comme nous l'indiquerons plus loin, le prix de revient



Donnons de suite quelques chiffres relatifs aux appareils qui fonctionnent actuellement en Allemagne :

Épaisseur de la couche de minerai sur la table : 0<sup>m</sup>,15.

Diamètre de la table : 5 mètres.

Capacité de production : 40-50 tonnes par 24 heures.

Vitesse de rotation : un tour en 90 minutes.

Aspiration : 250 à 300 millimètres d'eau, pouvant aller jusqu'à 400 millimètres.

La marche du grillage aux usines de Bindtsfeldhammer peut être résumée comme suit :

Minerais utilisés : 90 0/0 concentrés d'Australie, 10 0/0 galènes allemandes.

Composition moyenne de ce mélange :

Pb = 60-70 0/0 ; S = 13-14 0/0 ; Fe = 3 0/0 ; SiO<sub>2</sub> = 3-4 0/0 ; Zn = 5-6 0/0

Additions, avant grillage, pour 100 kilogrammes de minerais :

22 de carbonate de chaux, 5 de silice.

Après premier grillage aux fours Heberlein :

S total : 9 à 12, dont 2 à 2,5 0/0 à l'état de sulfate de chaux (et non de plomb) et 6 à 7 0/0 à l'état de sulfure.

Après second grillage aux tables :

S total : 2,5 à 4,5 dont 0,5 à 7,5 0/0 à l'état de sulfure et 2 à 3 0/0 à l'état de sulfate.

Quantité de mattes produite actuellement aux water-jackets : 0,5 à 2,5 0/0 du poids de la charge.

Si l'on cherche à comparer les trois procédés récents de grillage de la galène, on arrive au tableau suivant :

PROCÉDÉS	SORTES de marches	QUANTITÉ traitée par 24 h.	APPLICATIONS	ACIDE sulfureux	PRIX de revient
Pelletage continu.	minerai cru.	10 à 30 t.	à toutes les galènes.	non utilisé	13 à 16 fr.
Huntington-Héberlein.	minerai partiellement grillé.	30 à 35 t.	à toutes les galènes.	"	4 à 5 fr.
Savelsberg.	minerai cru.	12 à 15 t.	à certaines galènes.	"	4 fr.
Tables.	minerai partiellement grillé.	40 à 60 t.	à toutes les galènes.	très bien utilisé.	3 fr.

Le prix de revient le plus bas est réalisé dans le dernier procédé.

Les procédés Savelsberg et Huntington-Heberlein, un peu plus onéreux, sont de prix comparables, tandis que le pelletage continu est trois à quatre fois plus onéreux que ces deux derniers.

**Méthode par précipitation.** — Cette méthode très peu répandue consiste à fondre le minerai sulfuré en présence de fer ou de matières ferrugineuses oxydées ; il se forme du sulfure de fer et du plomb métallique qui est mis en liberté.

**Condensation des fumées.** — Quelle que soit la méthode employée pour le traitement, les appareils doivent être suivis par des *chambres de condensation* des fumées, aussi vastes que possible, afin de retenir les poussières plombeuses entraînées. L'installation d'un long carneau de dépôt des fumées est la *caractéristique* d'une fonderie de plomb, et de la perfection de cette condensation dépend la bonne marche de l'affinage et la *diminution des déchets*, permettant de fondre avec *bénéfice*. Ce point est donc d'une *importance capitale*. Il est fréquemment nécessaire, afin d'assurer l'écoulement des gaz dans les longues galeries de dépôt de fumée où ces derniers finissent par se refroidir, d'*activer* le tirage en interposant un *ventilateur aspirant* sur leur parcours.

Pour la même raison, les fours à manche pour plomb doivent toujours marcher à *gueulard fermé*. — Les poussières recueillies doivent être *agglomérées* et repassées dans le lit de fusion.

Les poussières recueillies s'enflamment spontanément avec la plus grande facilité ; l'on utilise cette propriété pour déterminer l'agglomération de ces fumées, qui de la sorte peuvent être retournées directement aux fours ; autrement on les mouille et les mélange aux minerais à griller.

**Affinage.** — Le plomb d'œuvre obtenu est en général trop impur pour pouvoir être livré tel quel au commerce ou à la désargentation ; il faut l'affiner. Cette opération est effectuée au four à réverbère. La capacité de ces derniers varie de 25 à 40 tonnes (50 tonnes à l'usine d'affinage d'Oboken près Anvers). L'affinage repose sur les deux faits suivants :

1° Le cuivre contenu est éliminé par fusion à basse température (400°) sous forme d'écumes de ressuage ;

2° L'arsenic, l'antimoine, l'étain, le zinc, le fer et le soufre, sont plus oxydables que le plomb ; après séparation du cuivre, l'on élève la température et introduit de l'air en surface. Ces deux opérations peuvent être effectuées dans un seul four ou dans deux fours placés en escade de façon à ce que les transvasements du métal se fassent par gravité.

Si l'usine effectue la désargentation elle-même, le métal liquide est envoyé à l'atelier de désargentation ; sinon, il est coulé en saumons.

Les écumes de ressuage sont traitées au tour à cuve en vue d'en

retirer le cuivre ; pour cela on les incorpore à un lit de fusion à teneur élevée en soufre ; il y a formation de matte qui retient le cuivre et que l'on sépare par décantation dans l'avant-creuset. Cette matte est traitée pour cuivre.

Les écumes de la deuxième opération sont également traitées au four à cuve ; l'on prépare un lit de fusion spécial auquel on les incorpore ; l'on obtient ainsi des plombs durs, antimonieux et arsenicaux, qui ont des emplois spéciaux.

La perte totale en plomb ne s'élève pas à plus de 8 0/0 dans une usine fonctionnant normalement.

**Essai des minerais.** — Cet essai se fait toujours, industriellement, par voie sèche. Les résultats sont inférieurs à la teneur réelle, surtout pour les minerais pauvres. Le réducteur est la paroi des creusets en fer forgé dans lesquels se fait la fusion du minerai accompagné des flux convenables.

L'essai pour argent se fait par coupellation du plomb d'œuvre.

**Désargentation du plomb d'œuvre.** — La désargentation est effectuée soit par concentration de l'argent dans une faible masse de plomb, suivie d'un traitement de ce plomb riche, soit par électrolyse.

*Concentration de l'argent dans une faible masse de plomb.* — **Premier procédé.** — *Pattinsonage*, indiqué par Pattinson en 1833. Ce procédé repose sur le fait que du plomb fondu se refroidissant lentement, c'est le plomb pur qui se solidifie le premier ; l'argent se rassemble dans les parties liquides. Par des opérations successives l'on arrive à un enrichissement très important en argent. Ce procédé n'est que très peu employé actuellement. Il n'est avantageux que dans le cas de plombs d'œuvre contenant du bismuth, ce dernier se concentrant dans le plomb riche.

**Deuxième procédé.** — *Zingage* (procédé Parkès). — Le plomb fondu est maintenu à 500° environ dans des chaudières en fonte de capacité variant de 30 à 70 tonnes. L'on y incorpore du zinc dans la proportion suivante.

Pour du plomb :

A	250 <sup>gr</sup> d'argent à la tonne, on incorpore 1 ou 1,20 0/0 de zinc		
	500	—	1,33 —
	1.000	—	1,50 —
	1.500	—	1,66 —
	3.000	—	2,00 —
	4.000	—	2,00 —

Le zinc doit être ajouté en plusieurs fois : une moitié du poids tout d'abord, puis les deux derniers quarts. On brasse et on décrasse la chaudière à chaque zingage.



Le brassage qui se faisait jadis à la main se fait maintenant au moyen d'agitateurs mécaniques (Howard).

Après chaque addition, on laisse refroidir et on procède à l'enlèvement des croûtes de cristaux figés à la surface du bain.

Ces cristaux formés d'alliage ternaire, plomb, zinc et argent, imbibés de plomb, enlèvent la presque totalité de l'argent.

Ainsi un plomb d'œuvre à 1:250 grammes à la tonne contiendra :

Après un 1 <sup>er</sup> écumage .....	250 grammes
Après un 2 <sup>e</sup> écumage.....	48 —
Après un 3 <sup>e</sup> écumage.....	6 —

L'alliage ternaire est chauffé à part pour liquater le plomb imbibant la masse. Ce plomb retourne à la désargentation.

Le résidu liquaté représente environ 2 0/0 du poids du plomb d'œuvre traité. Il est composé de :

Plomb .....	50 0/0
Zinc.....	33 —
Argent .....	17 —
	100

Cet alliage est distillé dans des creusets en plombagine munis d'une allonge. La condensation du zinc est assez imparfaitement réalisée dans une boîte métallique communiquant avec l'allonge.

Le plomb pauvre est débarrassé du peu de zinc qu'il a entraîné (de 0,6 à 1 0/0) par oxydation au réverbère. Il est ensuite coulé en saumons.

*Traitement du plomb riche.* — Le plomb riche produit par pattinsonnage ou résidu de la distillation de l'alliage plomb-zinc-argent est coupellé.

Cette opération se fait en général dans une coupelle montée sur truck mobile (coupelle anglaise).

On procède par *filage*, c'est-à-dire qu'on ajoute dans la coupelle, au fur et à mesure de l'oxydation du plomb et de l'écoulement de la litharge, de nouvelles quantités de plomb riche, jusqu'à ce que les litharges commencent à s'enrichir en argent. On obtient ainsi non pas de l'argent pur, mais un plomb très riche en argent qui est réuni aux produits des opérations similaires, jusqu'à ce qu'on en ait une quantité suffisante pour faire une *coupelette riche*, qui s'opère dans une coupelle neuve et dont les litharges sont revivifiées à part et désargentées. Le résultat de cette dernière opération est l'argent pur en lingots.

*Désargentation par électrolyse.* — Plusieurs procédés ont été essayés (Keith, Tommasis), mais seul le procédé de Betts semble devoir donner

solution d'hydrofluosilicate de plomb à 6/8 grammes de plomb par 100 centimètres cubes avec une addition de gélatine (225 grammes de gélatine par tonne de plomb déposé); grâce à la gélatine le plomb se dépose sous forme compacte. Comme anodes, l'on utilise le plomb d'œuvre. Les boues formées contiennent l'argent, l'or, le cuivre, l'antimoine, l'arsenic et le bismuth; le zinc, le nickel, le cobalt et le fer entrent en solution; le courant utilisé est de 160 ampères par mètre carré de cathode avec un voltage de 0,21 volt par cuve. Un ampère dépose 3<sup>er</sup>,88 de plomb par heure.

Avec ce procédé, les pertes de plomb sont très faibles et celles de métaux précieux sensiblement nulles. Le plomb obtenu est exempt de bismuth.

L'antimoine contenu dans les boues peut être récupéré en chauffant ces dernières avec du sulfate de sodium. L'on extrait ainsi 80-90 0/0 de l'antimoine et 50 0/0 de l'arsenic. La solution du produit obtenue est électrolysée; l'antimoine déposé contient environ 2 0/0 d'arsenic; on le refond et l'affine par fusion avec des fondants alcalins.

#### Propriétés du plomb. Usages.

*Densité* : 11,37 ;

*Point de fusion* : 327° C. ;

*Point d'ébullition* : 1.600° C. ;

*Résistance à la traction* : très faible, 2 à 3 kg/mm<sup>2</sup> ;

*Conductibilité électrique* : faible, 0,076 de celle de l'argent.

Le plomb est employé principalement à la fabrication des tuyaux des feuilles utilisées dans les chambres pour la fabrication de l'acide sulfurique, les bacs de décapage, etc.

#### Alliages de plomb.

**Plomb-antimoine.** — L'antimoine apporte au plomb de la dureté et de la fragilité : le diagramme présente un eutectique pour Sb = 13 fondant à 228°.

Emplois industriels :

Pb	Sb		
85-70	15-30		caractères d'imprimerie ;
50	25	Sn = 25	—
60	30	10	—
94-92	6-8		plaques d'accumulateurs ;
84-88	16-12		régule pour ceussinets.

**Plomb-étain.** — Le diagramme comprend une solution solide aux deux extrémités et un eutectique pour Pb = 63 fondant à 182°.

Emplois industriels.

Pb	Sn	
18	82	alliages pour potin ;
96	4	jouets, soldats de plomb ;
60	40	soudure des zingueurs ;
55	45	soudure des ferblantiers ;
30-40	70-60	soudures faibles, point de fusion 180°-200° ;
20-15	80-85	soudure pour vaisselle d'étain ;
83-88	17-12	antifriction.

**Plomb-arsenic.** — L'arsenic durcit le plomb et facilite l'obtention de la forme sphérique pour les plombs de chasse : As = 0,900 0/0.

Plomb	Étain	Antimoine	
Pb	Sn	Antimoine	
80	12	8	alliage antifriction ;
76	14	10	—
42	42	15	—

**Autres alliages**

Pb = 65	Cu = 10	Sb = 25		alliage antifriction ;
Pb = 25	Sn = 25	Bi = 50		alliage Darcet, point de fusion 94° ;
Pb = 5	Sn = 3	Bi = 8		point de fusion 94° ;
Pb = 3	Sn = 2	Bi = 5		— 90° ;
Pb = 8	Sn = 4	Cd = 3	Bi = 15	alliage Lipowitz, point de fusion 70° ;
Pb = 4	Sn = 2	Cd = 2	Bi = 5	alliage Wood, point de fusion 71°.

**Production du plomb.** — Ci-après une statistique tirée des documents publiés par la *Metallgesellschaft*.



ANNÉES	1913	1919	1920	1921	1922	1923
<i>Production des mines</i>						
Europe.....	353,4	204,0	204,6	176,8	199,1	212,6
Asie.....	29,3	29,5	33,4	44,0	56,2	56,8
Afrique.....	49,8	43,7	53,6	62,5	57,2	55,7
Amérique.....	535,9	507,6	569,8	461,7	613,0	708,3
Australie.....	254,8	7,5	7,8	85,2	132,3	142,0
Mondiale.....	1.223,2	856,3	869,2	830,2	1.057,8	1.175,4
<i>Production des usines</i>						
Europe.....	562,4	236,4	307,6	284,6	268,3	289,1
Asie.....	24,2	27,9	31,9	48,8	50,9	51,8
Afrique.....	0,6	22,8	26,3	33,1	35,0	26,4
Amérique.....	483,0	497,1	547,7	453,7	594,8	692,8
Australie.....	115,6	84,1	6,1	56,6	104,4	124,8
Mondiale.....	1.185,8	868,3	919,6	876,8	1.053,4	1.184,9
Valeur en millions de dollars.....	114,2	110,2	161,3	87,8	133,0	189,8
<i>Consommation de plomb brut</i>						
Europe.....	725,6	427,4	385,1	340,8	487,7	485,4
Asie.....	25,4	43,8	28,5	50,3	60,8	45,0
Afrique.....	6,2	2,0	3,0	4,0	8,0	10,0
Amérique.....	434,5	425,1	524,0	428,1	494,8	592,3
Australie.....	9,6	11,0	10,5	9,8	10,0	15,0
Mondiale.....	1.201,3	909,3	951,1	833,0	1.061,3	1.147,7

En 1927, production mondiale du plomb..... 1.662.600

Consommation mondiale de plomb brut..... 1.597.785

**Prix.** — Voici les cours moyens de plomb pour les années ci-dessous sur les marchés de Londres et de New-York.

ANNÉES	LONDRES Livres sterling par tonne de 1.016 kilogrammes	NEW-YORK Cents par livre de 453 <sup>gr</sup> ,6
1913	18,748	4,370
1914	—	3,862
1915	22,916	4,673
1916	31,359	6,858
1917	30,500	8,787
1918	30,100	7,413
1919	28,590	5,759
1920	38,4.6	7,957
1921	24,1.8	4,545
1922	25,8.4 1/8	5,734
1923	28,8.11 1/4	7,267
1924	26,16.4	8,097
1925	30 3/4	9,02
1926	25 5/16	8,42
1927	24.7.8 1/4	6,755

### Marché des minerais de plomb et des plombs d'œuvre.

(Conditions d'avant-guerre)

**I. Minerais.** — Les principaux acheteurs de minerais de plomb sont les suivants :

En France, les usines de Couëron, du Havre, de Biache-Saint-Waast, etc. ;

En Angleterre, les usines de Swansea et du Yorkshire ;

En Belgique et en Allemagne, Dumont frères à Liège, Société Escombrera à Bleyberg, Société de Stolberg, Société du Rhin et Nassau, etc. ;

En Italie, la Société de Pertusola ;

En Espagne, la Société de Penarroya, les usines de la côte à Carthagène, -es fonderies de Linarès, etc., etc.

En France et en Belgique, les prix sont fixés comme suit :

1<sup>o</sup> *Pour le plomb.* — De la teneur en plomb constatée à l'essai on déduit de 6 à 10 unités suivant la nature du minerai et surtout suivant la quantité d'arsenic et d'antimoine qu'il contient.

Le solde est payé au cours du plomb doux à Londres, Paris ou Marseille, ou une moyenne de ces cotes, suivant l'acheteur.

On alloue, comme frais de fusion, 60 à 80 francs par tonne.

2° *Pour l'argent.* — Pour l'argent, on paye tout l'argent contenu soit au cours du *Fine Silver*, soit au cours du *Standard* ou *Bar Silver* (Voir plus bas la différence), et on alloue 55 à 60 francs pour frais de désargentation par tonne de plomb payée.

Exemple : Minerai de plomb à 70 0/0 Pb et 2 kilogrammes d'argent par tonne de plomb. Déchet consenti, 7 0/0 ; frais de fusion, 65 francs par tonne de minerai ; et de désargentation, 55 francs par tonne de plomb payée.

Cours du plomb..... 28 francs les 100 kilogrammes à Paris  
— de l'argent..... 100 francs le kilogramme à Paris

Valeur du plomb :

$$(70 - 7) \times 28 - 65 = 111^f,40$$

Valeur de l'argent :

$$2 \times 0,70 \times 100 - \frac{55 \times 63}{183} = 105^f,35$$

TOTAL.. 216^f,75

Prix de la tonne de minerai c. a. f. au port de livraison.

En Espagne, dans les usines de la côte, les minerais sont achetés aux mineurs locaux en poids du pays, avec des déductions analogues à celles ci-dessous indiquées (formule de Carthagène).

Pour les ventes en Angleterre, il y a à tenir compte de certains usages importants à connaître.

La cote de plomb doux à Londres s'établit comme suit :

Le prix brut de la cote s'applique à 1.016<sup>kg</sup>,00 + 5<sup>kg</sup>,00 de bon poids, soit 1.021 kilogrammes.

Il faut compter, en outre, sur :

1 shilling par tonne pour frais de pesage.

2 1/2 0/0 d'escompte.

1/2 à 2 0/0 de commission.

De plus, si on traite sur la base du *Bar Silver*, il ne faut pas perdre de vue que le *Bar Silver* est de l'argent au titre de  $\frac{925}{1.000}$  pour l'once de 31<sup>gr</sup>,103.

Il est souvent utile de pouvoir passer rapidement du cours du *Bar Silver*, à Londres, exprimé en pence par once standard, au prix de l'argent fin par kilogramme exprimé en francs. Voici un rapport



commode à employer dans ce but :

$$\text{Rapport : } \frac{\text{Kilogramme argent fin en francs}}{\text{Once standard en pence}} = 3,6496,$$

soit pratiquement 3,65.

Exemple : Quel est le cours du kilogramme d'argent fin correspondant au prix de 28 d. l'once standard ?

$$28 \times 3,65 = 102^f,20.$$

Outre les frais de désargentation, les Anglais prélèvent 1,25 à 2 0/0 de commission et escompte sur la valeur de l'argent plus les frais d'essai. Enfin ils ne paient qu'à quinze jours, ce qui fait encore 0,25 0/0 d'intérêt sur le montant de la vente.

Voici une échelle anglaise adoptée à Swansea pour des minerais de bonne qualité, non arsenicaux. Minerai livré à quai à Swansea, humidité déduite.

1<sup>o</sup> *Plomb*. — Déduction sur la teneur, 5 unités. Le restant payé au cours des *marques ordinaires du plomb doux*.

TENEUR RÉDUITE	FRAIS DE TRAITEMENT alloués (shellings)
70 0/0 et au-dessus .....	3
69 à 65 0/0.....	41/6
64 à 60 .....	48/6
59 à 55 .....	45/6
54 à 50 .....	47/6
49 à 45 .....	49/6
44 à 40 .....	51/6

2<sup>o</sup> *Argent*. — Cours de base : Fine Silver à Londres à 4<sup>h</sup>,2 par ponce; à ce prix, l'argent contenu dans chaque tonne de minerai est payé comme suit :

TENEUR du minerai en argent	VALEUR de l'once	TENEUR du minerai en argent	VALEUR de l'once
20 à 29 onces.....	3/2	61 à 65 onces.....	3/4 $\frac{3}{4}$
30 à 40 — ....	3/3	66 à 70 — ....	3/5
41 à 50 — ....	3/4	71 à 80 — ....	3/5 $\frac{1}{2}$
51 à 60 — ....	3/4 $\frac{1}{2}$	81 à 90 — ....	3/6

**II. Plomb argentifère en lingots.** — On calcule la valeur du plomb, au cours de Paris ou de Londres, comme il a été expliqué plus haut. Lorsque les impuretés du plomb d'œuvre dépassent 2 0/0, il y a lieu à réfection pour le surplus des impuretés au delà de ce chiffre. L'allocation pour frais de désargentation est aussi augmentée dans ce cas. Elle est augmentée aussi de 0 fr. 50 par 100 grammes d'argent au delà de la teneur de 2 kilogrammes d'argent par tonne de plomb d'œuvre.

L'échantillonnage des saumons est assez délicat et demande des soins particuliers pour être assuré que la prise d'essai représente bien la moyenne teneur du lot.

Voici quel est le procédé généralement en usage.

### Conditions en usage pour le pesage, l'échantillonnage et les essais du plomb argentifère.

Le pesage aura lieu au fléau, avec chute de l'aiguille et bon poids du côté de l'acheteur, selon l'usage du commerce des métaux.

L'échantillonnage aura lieu selon la méthode suivante : cinq saumons sont étendus à côté les uns des autres, présentant à l'échantillonnage leur côté plat. Les échantillons sont pris suivant une diagonale du rectangle formé par les saumons. Ceux-ci sont ensuite retournés, et une nouvelle prise d'échantillons s'opère sur le côté rond, mais de façon à ce que la diagonale formée par les points d'échantillonnage soit en sens inverse et coupe la première diagonale au saumon du milieu. On recommence cette opération sur cinq nouveaux saumons jusqu'à ce que la partie tout entière ait été échantillonnée. Les échantillons sont ensuite écrasés, et, comme ils représentent chacun des saumons ayant à peu près le même poids, on les égalise tous ; tous ces échantillons sont alors fondus à une basse température et on les coule dans une lingotière de façon à obtenir une plaque excessivement mince. C'est sur des morceaux pris dans toutes les parties de cette plaque que se font les essais. Ladite plaque sera divisée en trois parties, une pour l'acheteur, une pour le vendeur et la troisième, mise sous scellés, servira en cas de tiers essai. Les agents des deux parties dresseront procès-verbal de la constatation du poids brut du plomb livré et de l'opération de l'échantillonnage.

A date fixée de commun accord, les parties se communiqueront les résultats de leurs essais, pour le plomb et pour l'argent chimiquement purs contenus dans le plomb brut livré.

Si les essais ne diffèrent pas de plus de 25 grammes par tonne pour l'argent et de plus de 1/2 0/0 (ou 5 kilogrammes par tonne) pour le plomb chimiquement pur, on prendra la moyenne de chacun des deux

essais pour établir la facture. Si la différence excède les tolérances, on aura recours, pour l'un ou l'autre ou l'un et l'autre des deux métaux, à un tiers essai opéré par un chimiste, choisi d'un commun accord par les deux parties.

### Zinc.

**Minerais.** — Les minerais de zinc sont de deux sortes : les minerais oxydés (carbonate et silicate) désignés industriellement sous le nom de calamine ; les minerais sulfurés, sulfure ou blende. Ce dernier minerai tend à être utilisé de plus en plus ; sa teneur habituelle varie de 30 à 55 0/0 de zinc. Il contient presque toujours de la galène et la séparation des deux minéraux par les moyens actuellement connus n'est jamais complète.

**Traitement métallurgique.** — La métallurgie du zinc consiste à :

1° Amener tout le zinc à l'état d'oxyde  $ZnO$  ;

2° Réduire l'oxyde par le carbone, ce qui ne peut avoir lieu qu'à une température supérieure au point d'ébullition du zinc.

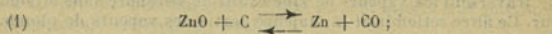
Le métal est obtenu à l'état de vapeurs qu'il faut condenser. Cette réduction s'opère en vase clos. Il faut éviter que les gangues ne fondent, surtout lorsqu'elles sont plombeuses, car elles attaquent et percent les récipients contenant la charge. On devra donc calculer la charge de façon à ce que les résidus aient un point de fusion aussi élevé que possible.

*Traitement des minerais en vue d'amener le zinc à l'état d'oxyde.* — Quand le minerai est à l'état de carbonate, on le calcine, cette opération se fait en four à cuve pour le minerai en morceaux ; au four à réverbère, à soles étagées, ou au four portatif, pour le minerai menu.

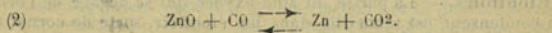
La blende est grillée. Cette opération nécessite un apport de chaleur étrangère, car il est nécessaire de faire un grillage à mort pour détruire le sulfate de zinc qui s'est formé au cours du grillage. Ce résultat n'est obtenu qu'en portant la masse à  $900^{\circ}$ . Comme au point de vue salubrité publique l'on ne peut laisser se dégager dans l'atmosphère l'acide sulfureux qui se forme au grillage, l'on utilise ce gaz à la fabrication d'acide sulfurique. Pour que les gaz de grillage soient le plus riche possible en  $SO_2$ , les blendes sont toujours grillées dans des fours à mouffles, à rablage manuel (four Hasenclever à mouffles superposés, four Delplace à moufle unique) ou à rablage mécanique (four Spirlet à plateaux circulaires superposés, les numéros pairs à partir du sommet sont fixes, les numéros impairs mobiles). La dépense en combustible varie avec le type des fours : elle est de 10 0/0 du poids du minerai chargé pour les meilleurs fours.



*Réduction de l'oxyde de zinc par le carbone.* — L'oxyde de zinc est réduit par le carbone suivant l'équation :



il est réduit également par l'oxyde de carbone formé :



La réduction de ZnO par C s'effectue à des températures très variables qui dépendent de la rapidité du chauffage. Cette réduction (1) constitue une réaction réversible s'accomplissant dans le sens de gauche à droite dès 600° alors qu'en sens inverse elle n'a été observée qu'aux très hautes températures.

La réduction (2) de ZnO par CO a déjà lieu vers 350-400° (Lemarchands, *Revue de métallurgie*, décembre 1920).

Il faut éviter le plus possible l'oxydation du zinc par l'acide carbonique (réaction 2) ; c'est avec la bonne condensation des vapeurs de zinc, la plus grosse difficulté de la métallurgie du zinc.

En pratique, les récipients dans lesquels s'effectue la réduction de l'oxyde de zinc sont chauffés à 1.400-1.500°, température maximum compatible avec la durée des récipients. La température de condensation varie de 425 à 500°.

La réduction de l'oxyde de zinc par le carbone s'effectue dans des récipients en terre réfractaire dont le nombre et la dimension constituent les caractéristiques des trois procédés actuellement employés : silésien, qui n'est appliqué qu'à des minerais pauvres, belgo-liégeois, et rhénan. Ce dernier tend de plus en plus à se substituer aux deux autres.

**Récipients de distillation.** — C'est dans ces récipients que l'on place le mélange de minerai et un grand excès de réductif (poussières maigres, de coke ou d'antracite dans la proportion de 40 à 80 0/0). Ils sont en terre très réfractaire et ont la forme de mouffles, contenant de 100 à 140 kilogrammes de charge, dans le procédé silésien, de creusets cylindriques à section ronde ou elliptique contenant de 30 à 70 kilogrammes de charge, dans le procédé belge-liégeois ; de creusets cylindriques à section elliptique contenant de 28 à 32 kilogrammes de charge, dans le procédé rhénan.

Les récipients sont placés en grand nombre dans un même four.

**Condenseurs.** — Les vapeurs de zinc métalliques doivent être condensés à leur sortie des récipients de distillation. Cette condensation s'effectue dans des récipients en bonne terre de poterie lutés sur l'orifice des récipients de distillation. Ces condenseurs ont la forme de prismes dans des fours silésiens, de tubes coniques dans les fours belges et de hottes dans les fours rhénans.

Un perfectionnement dû à Hopkins consiste à placer entre le condenseur et le creuset un filtre formé de matières carbonatées et que traversent les vapeurs de zinc avant de se rendre dans le condenseur. Ce filtre retiendrait la majeure partie des vapeurs de plomb, ce qui permettrait d'obtenir un zinc plus pur; les pertes en zinc seraient réduites de façon appréciable.

**Étouffoirs.** — La partie du zinc oxydée qui se dégage de l'orifice du condenseur est recueillie dans un étouffoir, sorte de cornet métallique qui coiffe l'orifice du condenseur. Le gris de zinc que l'on y recueille est formé de zinc en particules fines entourées d'oxydes.

**Fours de chauffage.** — Le chauffage des récipients de distillation est effectué dans des fours de types différents.

1° Fours à chauffage par grille. Les flammes montent de la grille à travers une série de creusets et se rendent directement à la cheminée ou redescendent à travers une autre série de creusets avant d'être évacuées. Les gaz très chauds sortant de ces fours sont très souvent utilisés à la production de vapeur;

2° Fours à chauffage par gazogène. Le combustible est gazéifié dans un gazogène, généralement accolé au four; le produit y est brûlé par de l'air secondaire. Cet air peut être échauffé au préalable au moyen des chaleurs des gaz brûlés.

Le type le plus moderne de fours est le four à gazogènes indépendants et à renversement périodique du sens du courant des gaz de chauffage. Ces fours sont pourvus de chambres de récupération rappelant celle des fours Martin. Avec ces fours on obtient un chauffage plus régulier qu'avec les autres modèles, ce qui a pour conséquence deux résultats des plus intéressants: moindre consommation de combustible, plus grande durée des creusets.

**Marche d'une opération.** — Considérons le four au moment où la distillation du zinc est terminée. Les ouvriers enlèvent les étouffoirs et les battent pour en retirer le gris de zinc qui sera soit enlevé, soit mis à part pour être chargé dans la ligne de creusets la moins chauffée.

Avec une rasette introduite par l'orifice antérieur du condenseur, les ouvriers tirent le zinc liquide par petites saccades et le reçoivent dans un poëlon; ils le coulent en lingotière. Ils délutent ensuite les condenseurs et, avec des ringuards, retirent les résidus se trouvant dans le creuset. Ils vérifient le bon état des creusets, réparent ceux qui en valent la peine, et remplacent ceux qui sont hors d'usage.

Au moyen d'une pelle de forme spéciale, ils projettent la charge dans le creuset, la tassent vigoureusement au moyen d'un fouloir, passent une tige de fer dans le haut de la charge pour créer un petit canal de dégagement des vapeurs et remettent le condenseur, puis l'étouffoir en place.

La distillat IRIS - ELLIAD - Université Lille 1 les minerais traités

selon le type de fours, le tirage du zinc se fait de une à quatre fois dans les vingt-quatre heures : dans le cas de trois tirages, le premier zinc est chargé de cadmium, le second est le plus pur et le dernier qui a été produit pendant que les fours avaient atteint leur maximum de température est riche en plomb.

Le décrassage ainsi que le chargement des creusets sont des opérations très pénibles ; en ce qui concerne le chargement, de sa bonne exécution dépendent dans une grande mesure, et la durée des creusets et le rendement en zinc. Aussi a-t-on cherché à effectuer mécaniquement cette manœuvre.

L'appareil de chargement Dor consiste en principe en une roue à palettes sur lesquelles tombe la charge et qui, étant animées d'un vif mouvement de rotation, projettent cette charge dans le creuset. Avec cet appareil, le chargement est très rapide et très régulier.

L'appareil Rosdzin de chargement et de déchargement se compose d'une vis sans fin que l'on introduit progressivement dans le creuset. Selon le sens de rotation de la vis, on détermine le décrassage ou le remplissage des creusets. Dans ce dernier cas, la charge s'écoule d'une trémie dans un tube qui entoure la vis, pour cette opération seulement.

En Amérique, on décrasserait les creusets en introduisant par un tube de fer y pénétrant, soit de l'eau finement pulvérisée, soit de la vapeur sous pression.

**Utilisation des résidus.** — Quand la charge traitée est plombée, les résidus contiennent des quantités appréciables de plomb. Les résidus sont enrichis par une préparation mécanique et les produits traités pour plomb.

Le gris de zinc est utilisé, soit comme réducteur dans l'industrie chimique, soit pour la *shéardisation*, procédé qui consiste à chauffer à 300° avec de la poudre de zinc les objets en fer que l'on veut galvaniser.

Le tableau ci-contre permettra de se rendre compte des principales caractéristiques des divers types de fours.



	PROCÉDÉS			
	Silésien	Rhénan	Belge	
Creusets {	Longueur.	1,60 à 2 mètres	1,25 à 1 <sup>m</sup> ,60	1 mètre à 1 <sup>m</sup> ,40
		$h = 0,50$ à $0^m,65$	$h = 0,25$ à $0^m,30$	$h = 0^m,15$ à $0^m,28$
	Section....	$l = 0,15$ à $0^m,20$	$l = 0,15$ à $0^m,18$	$l = 0^m,15$ à $0^m,20$
Charge par creuset en kilogrammes.....	150 maximum	30 à 70	28 à 32	
Disposition et nombre de creusets.....	72	120 à 252	54 à 400	
	en deux rangées	en trois rangées	en six rangées	
Durée des creusets en jour.....	20 à 30	30 à 50	25 à 35	
Combustible par vingt-quatre heures en t..	4 à 10	3,6 à 12	3 à 11	
Par tonne de minerai :				
Charbon de chauffe...	1 à 3 tonnes	1 à 1,6 tonne	1,2 à 2,2 tonnes	
Charbon de réduction.	0,4 à 0,60 t.	0,3 à 0,5 t.	0,2 à 0,7 t.	
Nombre de creusets...	0,2 à 2,4	0,8 à 1	1,2 à 2,4	
Journées d'ouvriers...	4 à 4,5	2,1 à 3,9	1,2 à 2,4	

La consommation de combustible dans la métallurgie du zinc est énorme, comme l'indiquent les chiffres moyens suivants se rapportant à la tonne de métal obtenu :

Charbon de chauffage pour la distillation.....	3 à 3,6 tonnes
Charbon de réduction mis dans le creuset.....	1 à 1,5 tonne
Charbon pour le raffinage.....	0,1 tonne

A ces chiffres, il y a lieu d'ajouter le combustible nécessaire pour la fabrication, le séchage des creusets, condenseurs, dont on fait une énorme consommation.

**Électrométallurgie du zinc.** — Cette question très travaillée n'a pas encore, à l'heure actuelle, donné de résultats assez nets pour que l'on puisse prévoir le développement prochain de l'électrométallurgie du zinc, en dehors de la Scandinavie où cette industrie prend sérieusement pied.

Presque tous les fours électriques donnent une forte proportion de poudre de zinc et d'oxyde de zinc. Les procédés les plus importants sont les suivants :

*Procédé Gustave de Laval.* — L'opération est effectuée dans un four à résistance ; le courant passé dans une grosse électrode verticale traversant le couvercle du four et dans une autre électrode pénétrant

dans la sole. Le chargement se fait latéralement par des moyens mécaniques. Les fours de Tröllhättan sont de 350 HP, et traitent 28 tonnes de minerai par vingt-quatre heures. Le métal produit contient 79 0/0 de zinc, 20 0/0 de plomb et 0,6 0/0 de fer.

*Procédé Cote et Pierron.* — Four à arc jaillissant dans un creuset. Le zinc volatilisé se décompose dans un récipient dont la température peut être réglée au moyen d'une résistance. Les résidus sont évacués à l'état fondu.

*Procédé Imbert.* — Le zinc est déplacé de ses combinaisons par le fer, le four étant chauffé par une résistance de charbon que traverse le courant.

On a essayé en Amérique un four dans lequel on charge des blocs cylindriques formés de minerai de zinc et de coke, agglomérés avec du brai ; on les empile sur une base munie d'électrodes amenant du courant. Le zinc distille sous l'action de l'effet Joule. Cette méthode procurerait du zinc en lingots, les gaz qui se dégagent étant absolument exempts d'acide carbonique. Avec un seul four, elle permettrait de traiter près de 9 tonnes de concentrés par vingt-quatre heures.

Ce qui caractérise les procédés d'électrometallurgie du zinc, c'est leur continuité.

D'après le spécialiste anglais Ingalls, « le succès de la fusion des minerais de zinc dans un four électrique viendra probablement quand on saura conduire le four, c'est-à-dire contrôler le procédé plutôt que d'en inventer un nouveau ».

**Extraction du zinc par électrolyse.** — Le seul procédé électrolytique qui soit entré dans la pratique industrielle est celui de l'Anaconda (Montana) employé dans des ateliers susceptibles de produire annuellement 35.000 tonnes de métal.

Le minerai sulfuré est grillé, puis lavé à 50/65° au moyen d'un léger excès d'acide sulfurique dilué qui dissout 90 0/0 du zinc contenu ainsi que l'argent. Le fer passé dans la solution est oxydé au moyen d'oxyde de manganèse, puis, après addition de chaux ou d'oxyde de zinc, on fait barboter un courant d'air dans la liqueur. Le fer est précipité. La solution passe ensuite au milieu de réservoirs tournants contenant des boulets en zinc ; le cadmium et le cuivre précipitent. Après décantation et filtration, la solution est soumise à l'électrolyse. Les cathodes sont en aluminium pur et les anodes en plomb ; l'électrolyte est maintenu à 70° C. La densité de courant est de 2,5 ampères par décimètre carré, sous un voltage de 3,4 à 3,8 volts par cellule. En quarante-huit heures, on dépose 24<sup>k</sup>,5 de zinc ne contenant que 0,01 0/0 d'éléments étrangers. Le zinc se détache facilement des cathodes. La liqueur épuisée est renforcée en acide et retourne aux bacs de lixiviation des minerais.

**Raffinage.** — Les zincs de calamine ne nécessitent qu'une simple

*fusion avec écumage* pour être débarrassés des métaux étrangers qui les souillent. Pour les zincs plus impurs, il faut opérer par *liqutation*. Les crasses d'affinage et de laminage sont liquatées par pression.

**Laminage.** — Le zinc présente cette particularité de n'être facile à laminer qu'entre des limites de température assez étroites, entre 100 et 150°; au-dessus et au-dessous de ces températures, le zinc est cassant et ne peut pas être travaillé.

**Propriétés du zinc. — Usages.**

*Densité* : 6,9 à 7,2, en moyenne 7,10 ;

*Point de fusion* : 419° ;

*Point d'ébullition* : 918° ;

*Résistance à la traction* : 6 kg/mm<sup>2</sup> ;

*Conductibilité électrique* : 0,27 de celle de l'argent.

*Analyse du zinc pur :*

	Bonne marque silésienne	Marque Vieille- Montagne
Zn.....	98,20 0/0	99,506
Ph.....	1,50 —	0,494
Fe.....	0,20 —	Traces.
S.....	Traces.	"
As.....		
Cd.....	0,10 —	"

Le zinc est utilisé en feuilles pour les toitures, l'imprimerie, en moulages, pour la galvanisation, pour la fabrication d'alliages tels que laitons, bronzes au zinc, certaines antifrictions. Enfin les sels de zinc sont utilisés pour la fabrication des couleurs minérales destinées à se substituer à la céruse (lithopone).

**Marché des minerais.** — Teneur minimum pour les blendes 37 0/0, pour les calamines 32 0/0.

Parmi les formules de vente des minerais, l'on peut citer :

$$V = 0,95 P \times \frac{T - 8}{100} - K \text{ pour la calamine,}$$

$$V = 0,90 P \times \frac{T - 2}{100} - K \text{ pour la blende.}$$

dans lesquels *P* est le cours moyen à Londres pendant le mois de livraison, *T* la teneur en zinc, *K* les frais de traitement accordés. Le plomb est compté en retranchant 8 unités et l'argent en retranchant 150 grammes.

**Pays producteurs de zinc. — Production.** — C'est l'Amérique qui est le pays producteur le plus important ; venaient ensuite l'Allemagne, la Belgique et la France. Au cours de la guerre, la situation s'est cependant modifiée. L'Angleterre a dépassé la France, en raison



de la destruction de nos usines du Nord. La Grande-Bretagne s'était d'ailleurs outillée pour pouvoir traiter les concentrés australiens et sa production annuelle devait être considérablement accrue, mais la crise économique a été telle, depuis, que la grande usine d'Avonmouth demeure inachevée. En Australie, des fonderies sont montées pour traiter sur place des minerais. Au Canada, les installations électrolytiques ont pris un grand développement; la production de ce pays pourra atteindre 14.000 tonnes par an. Le Japon, enfin, prend rang parmi les pays producteurs.

En France, l'occupation du Nord par les Allemands a amené à construire de nouvelles usines; celle de Rochefort (Compagnie Asturienne des mines) peut produire 500 tonnes par mois; celle de Salindres (Gard) (Compagnie française du zinc) 100 tonnes par mois; celle de Viviez (Aveyron) qui existait avant la guerre, a été développée de telle sorte que sa production peut atteindre 2.000 tonnes par mois.

Voici les chiffres comparés de production du zinc dans les divers pays pour les années 1913 à 1928 mises au point d'après les derniers documents publiés par la *Metallgesellschaft*.

ANNÉES	1913	1920	1921	1922	1923	1927	1928
Allemagne...	281.100	99.200	90.000	72.000	40.000	84.100	98.064
Angleterre ..	59.100	22.700	5.800	15.000	46.900	42.540	56.280
Belgique ....	204.200	83.000	66.500	112.400	147.100	201.630	209.304
Espagne ....	6.900	9.600	6.700	6.300	10.900	16.960	13.500
Etats-Unis...	314.500	420.200	181.900	320.000	463.100	556.600	562.092
France.....	64.100	20.100	24.200	40.400	45.000	82.650	96.792
Japon .....	1.500	5.000	7.000	10.000	10.000	17.000	21.300
Monde entier.	1.000.800	707.600	435.500	700.900	955.500	1.328.900	1.428.876

**Prix.** — Les prix moyens ont été les suivants depuis 1913 jusqu'en 1923 sur les marchés de Londres et New-York.

ANNÉES	LONDRES Livres sterling par tonne de 1.016 kilogrammes	NEW-YORK Cents par livre de 453 <sup>gr</sup> ,6
1913	22,14.3	5,648
1914	22,8.5	5,213
1915	66,13.4 1/2	13,320
1916	68,8.11	12,804
1917	52,3.6	8,901
1918	52,3.11 3/4	8,159
1919	42,5.2 1/2	7,338
1920	45,4.5 2/3	7,671
1921	26,4. — 1/4	4,655
1922	29,14.1 11/12	5,716
1923	32,18.6	6,607
1924	34 3/4	6,344
1925	36 1/2	7,622
1926	35	7,337
1927	28,9.10 1/2	6,242
1928	25,5.8	6,377
1929	24,15.10	6,862

### Cadmium.

**Minerais.** — Le sulfure de cadmium (greenockite) ne constitue pas la matière première d'élaboration de ce métal ; ce sont uniquement des sous-produits de la métallurgie du zinc que l'on utilise à cet usage. Le cadmium existe en plus ou moins grande quantité dans la plupart des minerais de zinc.

**Métallurgie.** — Au cours de la distillation des minerais de zinc cadmifères, le cadmium, plus volatil que le zinc, distille d'abord et se trouve dans les premières poussières qui se déposent dans les allonges. Ces poussières, qui contiennent jusqu'à 6 0/0 de cadmium, sont mélangées à du poussier maigre et distillées à basse température dans les mêmes cornues que les minerais de zinc. Cette opération donne des poussières et du métal riches en cadmium que l'on redistille avec du charbon de bois dans de petites cornues en fonte ou en argile. Le métal recueilli est refondu et coulé en petits lingots. La perte en cadmium au cours de ces diverses opérations est très importante.

En Amérique, il y a quelques années, la presque totalité du cadmium était extraite de poussières recueillies pendant la filtration des gaz et fumées qui sortent des fours à plomb et à cuivre. Ces poussières grillées sont traitées par  $\text{So}^4\text{H}^2$  et cette solution purifiée des autres métaux qu'elle peut contenir est électrolysée. On utilise des

électrodes rotatives en aluminium pour obtenir un dépôt compact de Cd : leur diamètre est de 1 mètre environ, et tournent à la vitesse de 1 tour et demi à la minute; la densité du courant utilisé est de 1,5 ampère par décimètre carré. Sous une tension de 4 volts. Consommation de courant par kilogramme de métal environ 2 kilowatt-heure.

Actuellement la plus grande partie du Cd américain et australien est obtenue pendant la fabrication du zinc électrolytique.

Le Cd est séparé du Zn par électrolyse.

Propriétés du cadmium :

Densité = 8,65 ;

Point de fusion = 320° C. ;

Point d'ébullition = 778° C. ;

Charge de rupture = 9,5 kilogrammes par millimètre carré.

Alliages de cadmium (d'après Cournot) :

Cd = 23	Pb = 77	point de fusion 249° : fusibles d'extinction automatique et de chaudières ;
Cd = 15-5	Pb = 85-95	antifricition ;
Cd = 50-70	Sn = 50-30	(eutectique pour Sn = 71, point de fusion 178°) : soudures douces, mêmes usages que les soudures Pb — Sn, mais plus résistantes ;
Cd = 13-17	Zn = 87-83	(eutectique pour Zn = 17, point de fusion = 300°), remplace la brasure au laiton pour acier.
Pb = 80-85	Sn = 10-5	Cd = 10 pour soudures. moins coûteux que l'alliage Cd Sn précédent, utiliser avec flux composé de résine, chlorure d'ammonium, alcool ;
Pb = 33-66	Sn = 27,5-33	Cd = 22,5-21 élichés de stéréotypie ;
Pb = 90-8	Zn = 1,4	Cd = 7,8 pour brasure de pièces devant résister à des élévations de température, par exemple pour réunir cuivre-acier en contact avec la vapeur d'eau ;
Cd = 50-65	Sn = 30-5	Zn = 20-30 brasure pour aluminium et alliages légers ;
Cd = 14-16	Ag = 80	Cu = 4-6 médailles ;
Cd = 12	Ag = 40	Ni = 12 Cu = 36 pour pièces d'orfèvrerie, résiste mieux à l'usure que l'alliage Ag-Cu 835/1.000 ainsi qu'aux corrosions sulfureuses.

Le Cd est utilisé pour désoxyder l'argent et ses alliages dans la proportion de 0,5 à 1 0/0 que l'on ajoute immédiatement avant la coulée.

On l'utilise également pour désoxyder le cuivre : Le diagramme



Cu-Cd ne présente pas de solution solide du côté du cuivre, en sorte que l'excès de Cd après désoxydation s'isole dans le cuivre sous forme de  $\text{Cu}_2\text{Cd}$  et n'en affecte que très peu la conductibilité : 1 0/0 de Cd abaisse de 10 0/0 environ la conductibilité du cuivre, augmente R de 33 0/0 et A 0/0 de 50 0/0 : la dureté passe de 44 à 65, la résilience augmente de moitié, la résistance aux chocs répétés des  $3/4$ . Le Cd est ajouté au cuivre sous forme de l'alliage Cd-Cu à 48 0/0 de Cd, dont le point de fusion varie de  $670^\circ$  à  $550^\circ$ .

On doit recuire le cuivre désoxydé au Cd à une température un peu supérieure à celle du cuivre pur.

*Autre application.* — Dépôt électrolytique pour protection contre la corrosion des autres métaux : on remédie au manque de dureté du dépôt de Cd par un deuxième dépôt avec du nickel.

## Étain.

**Minerais.** — Le seul minerai d'étain qui soit traité industriellement est la cassitérite, bioxyde d'étain de formule  $\text{SnO}_2$ . Pur, ce minéral contient 78,67 0/0 d'étain, alors que la teneur ordinaire du minerai n'est que de 3 à 4 0/0. Certains minerais ne contiennent même que 5 à 8 kilogrammes d'étain à la tonne.

On exploite la cassitérite dans la presqu'île de Malacca et en Australie, dans des *alluvions stannifères*. L'étain retiré de ces minerais est le plus pur. On trouve aussi la cassitérite en filons dans le granit dans un grand nombre de localités, dans le pays de Cornouailles, en Espagne, en Suède, etc. Les alluvions stannifères ne sont, d'ailleurs, que le *produit de la décomposition* et du *transport par les eaux*, de gîtes filoniens. Cet enrichissement naturel est favorisé par la *grande densité* de la cassitérite, qui est de 6,96.

La cassitérite est toujours accompagnée, dans ses gisements filoniens, de fluorine, d'apatite, de topaze et de mica blanc. Elle contient fréquemment du mispickel, qui rend le traitement difficile et donne un étain de qualité inférieure.

Tous les minerais d'étain sont soumis avant traitement métallurgique à un enrichissement comprenant : triage à l'exploitation et broyage suivis de lavages successifs.

Les alluvions stannifères, même très pauvres, peuvent être exploités économiquement lorsqu'on dispose d'un volume d'eau suffisant pour pouvoir abatre et laver à peu de frais de gros cubes, à la façon du lavage hydraulique des alluvions aurifères.

**Traitement des minerais.** — L'obtention de l'étain s'effectue en trois phases :

1<sup>o</sup> *Préparation du minerai.* — Lorsque le minerai contient de la pyrite ou du mispickel, il est soumis à un grillage oxydant. Cette

opération, dans le cas de minerais cuivreux. permet de recueillir le cuivre par lessivage acide sous forme de sulfate. Avec certains minerais, il est nécessaire, pour éliminer complètement le soufre de l'arsenic, d'avoir recours au grillage chlorurant. Enfin, dans le cas de minerai à haute teneur en cuivre (de 8 à 10 0/0) on effectue un grillage sulfurant.

2° *Réduction.* — Cette réduction s'effectue au four à réverbère à la température de 1.400° C. de façon à obtenir une scorie très fluide. L'on charge 3 à 4 tonnes de minerai avec 20 0/0 de son poids d'antrace finement divisé. Les soles de ces fours sont très minces; en dessous d'elles sont les cuves à circulation d'eau dans lesquelles l'étain ayant traversé la sole se granule. L'étain est coulé dans un bassin extérieur et recueilli à la cuiller. Les fonds de bassin donnent de l'étain ferreux impur. L'opération complète s'effectue en plusieurs fois; le premier laitier renferme des quantités importantes d'étain; il est repassé au four; les dernières scories contiennent de 2 à 5 0/0 d'étain; elles sont traitées au water-jacket de façon à ce que les déchets contiennent moins de 1 0/0 d'étain.

Les fours sont suivis d'un râmpant suffisamment développé pour recueillir les poussières qui sont riches en étain et que l'on repasse avec le minerai.

3° *Raffinage.* — Le raffinage se fait dans un four à réverbère identique à celui employé pour la réduction. On charge 5 tonnes à la fois et on chauffe lentement pour laisser les métaux étrangers gagner le fond du four. On laisse écouler constamment l'étain le plus pur qui se trouve à la surface du bassin. On le brasse avec du bois vert et on le remplace par de l'étain brut en opérant par *flage*, comme dans la coupellation de l'argent. On passe ainsi 20 tonnes qui laissent un résidu ferreux qui est traité par campagnes intermittentes avec les autres matières impures. Cette opération consiste en une fusion par liquation qui ne donne que de l'étain de qualité inférieure destiné à des usages particuliers.

L'affinage de l'étain peut être effectué également électrolytiquement. On utilise de l'acide hydrofluosilicique à 15 0/0 comme électrolyte. La densité de courant est de 130 ampères par mètre carré de surface d'électrode. Le métal obtenu ne contient que 0,02 à 0,04 0/0 d'impuretés.

**Rendements.** — Pour un minerai contenant 65 0/0 d'étain, on retire :

A la 1 <sup>re</sup> opération .....	50 0/0
— 2 <sup>e</sup> — .....	5 —
— 3 <sup>e</sup> — .....	1 —
TOTAL....	<u>56 0/0</u>

soit 9 unités de purif. — IRIS — LILLIAD — Université Lille 1

Depuis la guerre, l'emploi du four électrique dans les lieux producteurs de minerais s'est développé et semble devoir donner des résultats très intéressants.

**Traitement des déchets de fer-blanc.** — L'étain contenu dans ces déchets peut être recueilli sous forme de tétrachlorure, soit à l'état d'étain métallique.

Dans le premier cas, sur les déchets mis en paquets et desséchés, on fait passer un courant de chlore bien sec. L'opération est effectuée dans de vastes tours suivies d'appareils de condensation; après refroidissement et balayage par un courant d'air sec, on a comme résidu du fer à 0,02 0/0 d'étain et que l'on utilise comme scraps au four Martin.

Pour recueillir l'étain à l'état métallique, on a recours à deux méthodes :

a) *Procédé à la soude.* — Les déchets sont placés dans des paniers formant anodes; l'électrolyte est une solution de soude à 10 0/0 à la température de 80°; le courant utilisé est de 100 ampères par mètre carré de surface sous 2 volts. L'étain obtenu est spongieux; il est généralement, après lavage, transformé en chlorure.

b) *Procédé aux sulfures alcalins.* — L'électrolyte est une solution à 10 0/0 de sulfure de sodium à la température de 90°; le courant est de 0,1 ampère par mètre carré sous 2 volts. L'étain obtenu est très compact.

#### Propriétés de l'étain. Usages.

*Densité* : 7,29;

*Point de fusion* : 232°;

*Point d'ébullition* : entre 2.100 et 2.200°;

*Résistance à la traction* : 8 kg/mm<sup>2</sup>;

*Grande ductilité*, maximum vers 100°;

*Conductibilité électrique* : 0,13 de celle de l'argent.

Il est utilisé pour le revêtement d'autres métaux (étamage) et à la fabrication de feuilles très minces destinées à envelopper certaines denrées. Il est employé en grand pour la fabrication des alliages, et à l'état de phosphore l'on s'en sert pour la préparation des bronzes phosphoreux.

**Production de l'étain.** — La production anglaise est la seule qui ait de l'importance, en dehors de celle des Indes orientales. Elle a été en 1913, de 5.300 tonnes.

On peut dire néanmoins que la production de l'étain est concentrée pour la majeure partie dans les Indes, et c'est le cours des étains des Détroits qui fixe le marché. Les expéditions des Détroits, en 1913, se sont élevées à 65.640 tonnes pour une production mondiale de 131.000 tonnes.

Au point de vue minier, la Bolivie prend une très grande importance. Les IRIS et LILLIAD, Université Lille 10 d'étain constituent



la majeure partie de ceux traités en Angleterre, en France et en Allemagne. Des essais ont été faits en vue du traitement sur place du minerai au four électrique. L'étain ainsi produit serait plus pur que celui obtenu au réverbère.

Le tableau ci-après donne les chiffres des principaux producteurs. Il est tiré également des documents publiés par la *Metallgesellschaft.*

ANNÉES	1913	1919	1920	1921	1922	1923
Grande-Bretagne....	5.400	3.300	3.100	600	400	800
Asie.....	89.900	79.600	77.700	76.200	86.100	82.900
Afrique.....	5.400	7.200	8.100	6.600	6.400	7.200
Bolivie.....	26.800	30.000	29.300	19.500	32.100	29.100
Australie.....	7.900	4.400	4.300	3.200	2.700	2.900
Monde entier.....	135.700	124.900	123.100	106.500	128.000	123.200
Prix moyen en cents par Cb à Ny.....	44.252	63.328	48.273	28.58	31.83	41.80

En 1927, la production mondiale a été de 158.800 tonnes.

**Marché de l'étain.** — C'est à Londres qu'est le marché principal de l'étain. Par ordre de prix décroissant, les quatre principales marques qui y sont cotées sont : Banka, Billiton, Détroits et Cornouailles. Certains de ces étains ont des emplois déterminés ; c'est ainsi que, pour l'enveloppement des produits alimentaires, l'on emploie presque exclusivement l'étain des Détroits.

#### Prix.

ANNÉES	1921	1922	1923	1924
Londres : Livres sterling par tonne de 1.016 kilogrammes ..	165.8.2 1/6	159.10.9	202.5.1	248.17.4
New-York : Cents par livre de 453,6 grammes.	28,58	31,83	41,80	49,67

En 1927 l'étain a été coté à Londres 289.1.6 1/4 livres sterling par tonne de 1.016 kilogrammes à New-York, 62,747 cents par livre de 453,6 grammes.

## Nickel.

**Minerais.** — Les principaux minerais de nickel employés industriellement sont : la garniérite (silicate double de nickel et de magnésium contenant de 4 à 0/0 de Ni) dont le centre le plus important de production est la Nouvelle-Calédonie; les minerais sulfurés, pyrites complexes contenant de 2 à 4 0/0 de Ni et de 2,5 à 5 0/0 de Cu se trouvant au Canada (Ontario); enfin les minerais arsenicaux, contenant de 5 à 7 0/0 de Ni, de 18 à 22 0/0 d'As, de 2 à 3 0/0 d'Ag, existant surtout au Canada (district de Cobalt).

**Métallurgie du nickel.** — Les principes de cette métallurgie diffèrent suivant les minerais traités; garniérites, sulfures ou arséniures.

*Traitement de la garniérite.* — Ce traitement a pour but la formation d'une matte de formule  $\text{NiS}, n\text{FeS}$ , dans laquelle est concentré le nickel.

Le minerai est fondu avec du gypse et du charbon, ces deux corps réagissant l'un sur l'autre pour donner du sulfure de calcium. Cette fusion est effectuée dans des water-jackets de faible hauteur (2 à 3 mètres). On obtient ainsi une matte contenant de 40 à 50 0/0 de Ni et de 12 à 18 0/0 de soufre.

La matte est ensuite défermée au convertisseur par insufflation d'air dans la masse fondue; le sulfure de fer est transformé en oxyde  $\text{FeO}$  qui, en présence de silice introduite sous forme de minerais siliceux, donne naissance à une scorie évidemment riche en nickel et qu'on repasse au water-jacket. On utilise pour cette opération des convertisseurs à revêtement basique (voir *Métallurgie du cuivre*). Il reste du sulfure contenant 75 0/0 de Ni et 0,2 0/0 de Fe.

Le sulfure de nickel est ensuite grillé à mort. Cette opération est effectuée en deux fois dans un four à pelletage continu. Le produit final est de l'oxyde de nickel à 77 0/0 de Ni que l'on réduit par le carbone, comme il sera expliqué ci-après.

*Traitement des minerais sulfurés.* — Les minerais sont grillés partiellement: en tas pour les minerais en morceaux, au four mécanique (Wedge) pour les fines. La teneur en soufre est ramenée à 7 0/0.

La fusion pour matte du minerai partiellement grillé est effectuée soit au water-jacket, soit au réverbère; on obtient une matte complexe dans laquelle la teneur en  $\text{Cu} + \text{Ni}$  atteint environ 25 0/0. Cette matte est passée ensuite au convertisseur basique pour effectuer le défermage. IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

A la Canadian Copper Co., une opération est conduite de la façon suivante: on charge 70 tonnes de matte liquide, auxquelles on ajoute 10 0/0 de fondants siliceux. Le soufflage est maintenu trois quarts d'heure. On coule la scorie formée, ajoute 5 à 6 tonnes de matte, puis 3 tonnes de fondants siliceux et souffle à nouveau. On continue jusqu'à ce qu'aient été chargées 400 tonnes de matte et 158 tonnes de fondant; on produit environ 117 tonnes de matte défermée contenant 80 à 82 0/0 de Ni + Cu.

L'affinage de la matte défermée a lieu par l'un des procédés suivants :

*Procédé Oxford.* — En principe ce procédé consiste à fondre le sulfure double de nickel et de cuivre avec du sulfure de sodium (ou un mélange de sulfate de soude et de charbon); on obtient des produits se séparant en deux couches, à la partie supérieure un sulfure double de cuivre et de sodium entraînant le fer et un peu de nickel, à la partie inférieure le sulfure de nickel avec un peu de cuivre et de fer. On répète plusieurs fois l'opération de façon à obtenir des produits de plus en plus purs. Ces produits sont décantés, puis lavés séparément à l'eau. Du sulfure double de cuivre et de sodium on retire le sulfure de cuivre entraînant la majeure partie des métaux précieux et de 2 à 2,5 0/0 de Ni.

Le sulfure de nickel est, après broyage, soumis à un grillage chlorurant; le cuivre présent est solubilisé et enlevé par lessivage. L'oxyde de nickel restant est réduit comme il sera expliqué plus loin.

*Procédé Mond.* — Ce procédé repose sur l'action de l'oxyde de carbone à 100° sur le nickel réduit: il y a formation d'un produit volatil, le nickel carbonyle,  $\text{NiCO}_4$ , décomposé à 180° abandonnant son nickel. En principe, il se compose des opérations suivantes:

- a) Grillage oxydant du sulfure double de nickel et de cuivre;
- b) Les oxydes sont lavés à l'eau acidulée par l'acide sulfurique, ce qui élimine la plus grande partie du cuivre et très peu de nickel;
- c) Réduction à 300-350° des oxydes résiduels par un gaz réducteur (gaz à l'eau);
- d) Sur le métal à l'état très divisé on fait passer un courant d'oxyde de carbone; il y a volatilisation du nickel.
- e) Le nickel carbonyle est décomposé avec formation de nickel et mise en liberté d'oxyde de carbone qui retourne dans le cycle des opérations.

Le nickel ainsi produit est pratiquement pur, ne contenant jamais plus de 0,02 0/0 d'impuretés.

*Procédé Monel.* — Le sulfure de nickel et de cuivre est grillé à mort; les oxydes sont réduits au four à cuve et donnent directement des alliages cuivre-nickel à 67 0/0 de Ni, 28 0/0 de Cu et 5 0/0 de Fe,



*Procédé au speiss.* -- Ce procédé s'applique aux minerais arsénicaux. Il consiste en :

a) Une fusion pour speiss brut, analogue en tous points à la fusion pour mattes, l'arsenic remplaçant le soufre ;

b) Raffinage du speiss brut, consistant en un grillage destiné à oxyder le fer scorifié ensuite par fusion sur sole siliceuse.

c) Traitement pour nickel métallique ; l'arséniure de nickel est grillé ; il se forme une certaine quantité de NiO et l'arsenic est en partie volatilisé sous forme de  $As_2O_3$  ; il y a production d'un arséniate qu'il est nécessaire de réduire à l'état d'arséniure par addition de charbon ; l'on recommence ensuite le grillage et, par des opérations successives de grillage et de réduction, l'on arrive à avoir tout le nickel à l'état d'oxyde. Pour éliminer les dernières traces d'arsenic, il est nécessaire d'effectuer une fusion avec des carbonates et nitrates alcalins donnant des arséniates solubles.

**Réduction de l'oxyde de nickel.** -- L'on fait une pâte avec de l'oxyde et 0,5 0/0 en poids de farine et moule en forme de petits cubes ou de cylindres ; après séchage, la pâte, noyée dans du charbon de bois, est placée dans des fours à cornues horizontales ou mieux verticales. Le tout est porté à la température de  $1.250^{\circ} C$ .

Au sortir du four de réduction, les produits sont passés au polissage. Le métal obtenu contient des traces de cuivre, 0,5 0/0 de fer ou moins, des traces de soufre. Le total des impuretés dépasse rarement 1 0/0. Tel quel, il peut être utilisé pour un grand nombre d'applications, en particulier la fabrication des alliages ; mais il ne peut être laminé, car il contient de l'oxyde de nickel qui lui enlève toute malléabilité.

**Affinage.** -- Pour éliminer l'oxyde ou « malléabiliser » le nickel, on fond le métal avec des désoxydants (tel le magnésium à raison de 0,1 0/0). Le procédé Basse et Selve consiste à ajouter 3 0/0 de bioxyde de manganèse à l'oxyde de nickel au moment de sa mise en pâte avant réduction ; au cours de cette dernière opération, il se forme du manganèse, métal qui empêche le nickel de s'oxyder.

L'affinage électrolytique permet de séparer les métaux précieux ; on utilise comme électrolyte une solution de sulfate de nickel légèrement acide (100 grammes de Ni et 2 grammes d'acide libre par litre) ; la densité de courant est de 200 ampères par mètre carré environ, sous 1,2 volt.

**Électrometallurgie.** -- a) *Par voie sèche.* -- A Tao (Nouvelle-Calédonie), on prépare du ferro-nickel à 45 0/0 de Ni dans des fours Héroult de 1.000 chevaux environ à sole magnésienne. On peut traiter des minerais à 2 0/0 de Ni.

b) *Par voie humide.* -- Cette méthode de traitement des minerais de nickel a été l'objet de nombreux essais, mais seul le procédé Hybnette semble à l'heure actuelle être entré dans la pratique indus-

trielle. La matte défermée à 47 0/0 Ni, 33 0/0 Cu et 20 0/0 de S est grillée à mort, puis lessivée avec une solution aqueuse d'acide sulfurique à 10 0/0. La majeure partie du cuivre et un peu de nickel sont dissous. Le résidu 65 0/0 Ni, 3 à 8 0/0 de S et Cu et traces de fer, est fondu et coulé en anodes ; ces anodes contenues dans des sacs en toile sont mises dans l'électrolyte formé d'une solution d'un sel de nickel. Le nickel et le cuivre sont déposés successivement sur les cathodes constituées par des plaques de fer enduites de graphite. Le dépôt a lieu sous 3 à 4 volts et 100 ampères environ par mètre carré. Au cours de l'opération, l'électrolyte s'enrichit en cuivre ; quand la richesse est suffisante (2 à 3 grammes par litre), on fait passer la solution sur des déchets d'anodes : du cuivre se dépose tandis que du nickel passe en solution. Le nickel obtenu contient moins de 1 0/0 d'impuretés.

Les métaux précieux se trouvent dans les schlamms qui sont fondus en nouvelles anodes et électrolysés séparément. On obtient des boues riches en métaux précieux qui sont vendues à des usines spécialisées.

Le cuivre est recueilli de façon analogue avec la même densité de courant que pour le nickel, mais sous 2 volts.

**Propriétés du nickel. — Usages :**

*Densité* : 8,3 ;

*Point de fusion* : 1.450° ;

*Résistance à la traction* :  $R = 50 \text{ kg/mm}^2$  ;  $E = 10$  ;  $\Delta = 80$  à 100 et  $A = 40$  0/0 sur métal laminé et recuit.

Se forge et se coule comme l'acier. Très résistant aux agents atmosphériques et susceptible de prendre un beau poli.

*Résistivité* = 10,6 microhms-centimètre avec un coefficient de 0,0041 par degré centigrade ;

*Conductibilité thermique* = 0,14 (CrS), soit 1/6 de celle du cuivre

*Chaleur spécifique* : 0,13 calories-gramme ;

*Coefficient de dilatation* : 0,000013 de 25° C. à 100° C. ;

0,000013 de 25° C. à 600° C. ;

*Retrait* : 2 centimètres par mètre linéaire environ.

Ses sels sont employés comme catalyseurs pour l'hydrolyse des corps gras et pour le nickelage par dépôt électrolytique. Le nickel est employé pour la fabrication des monnaies, des ustensiles de cuisine.

Voir alliages : cuivre-nickel, cuivre-nickel-aluminium, maillechort, Monsel.)

**Production.** — En 1912, la production mondiale du nickel a été de 28.500 tonnes dont 15.000 pour les États-Unis et le Canada et

12.300 tonnes pour la France, l'Allemagne et l'Angleterre traitant des minerais néo-calédoniens.

En 1913, la production de ce métal a atteint 30.000 tonnes, l'augmentation par rapport à l'année précédente étant presque totalement due aux États-Unis et au Canada.

Le Canada a produit 41.298 tonnes de nickel en 1916, 41.887 tonnes en 1917, 45.886 tonnes en 1918, 22.035 tonnes seulement en 1919, 12.000 en 1925.

Le minerai extrait, durant les mêmes années, a atteint les tonnages respectifs suivants : 1.566.333 tonnes, 1.518.783 tonnes, 1.641.617 tonnes, 572.400 tonnes et 700.000 tonnes.

La production de la Nouvelle-Calédonie en minerai de nickel a varié, d'autre part, comme suit :

Années ..	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1925
Tonnes ..	164.406	172.000	141.009	105.000	30.000	90.650	164.000

**Prix.** — A fin décembre 1927, on cotait, à Paris, le nickel en lingots : 2.200 francs ; le nickel pur laminé : 3.500 francs.

### Aciers au nickel.

Suivant la teneur en nickel et en carbone, ces aciers recuits et refroidis lentement sont soit perlitiques, soit martensitiques soit austénitiques. C'est ainsi que pour les deux teneurs en carbone 0,20 et 0,80 sont indiquées dans le tableau ci-dessous les teneurs limites en nickel pour chaque classe

	C = 0,20	C = 0,80
Aciers perlitiques.....	Ni < 10	Ni < 5
— martensitiques.....	10 < Ni < 27	5 < Ni < 15
— austénitiques.....	Ni > 27	Ni < 25

Les aciers perlitiques et austénitiques sont seuls utilisés dans l'industrie.

**Principaux aciers au nickel : perlitiques.** — Les aciers perlitiques au nickel ont par rapport aux aciers ordinaires de même composition, sans nickel, une charge de rupture et une limite élastique plus grande sans diminution des allongements et de la résilience.

1° N<sub>1</sub> = 1,8-2,5, C = 0,10-0,15. Aciers doux et de cémentation.

Caractéristiques après trempe à l'eau à 850° :

$$R = 55-75, \quad A \ 0/0 = 15-20, \quad \epsilon = 25-50 \ (1)$$

(1) Eprouvette Mesnager.



peut être cémenté et ne nécessite pas une double trempe après cémentation : remplace l'acier de cémentation ordinaire, est employé aussi après trempe sans cémentation pour pièces de direction d'automobiles et essieux : tôles et tubes pour chaudières à fortes pressions ;

2° Ni = 5-6,5, C = 0,10-0,20. Caractéristiques après trempe à l'eau à 800° :

$$R = 105-130, \quad A\ 0/0 = 10-14, \quad \varphi = 8-12;$$

utilise après cémentation et trempe pour axes, secteurs de direction, fusées, soupapes d'admission.

3° Ni = 3, C = 0,25. Caractéristiques après trempe à l'eau à 800° et revenu à 600° :

$$R = 75, \quad E = 51, \quad A\ 0/0 = 18, \quad \varphi = 20;$$

utilisé pour châssis d'automobiles, essieux, leviers, boulons, tôles et profilés à haute résistance.

L'inconvénient des aciers au nickel de cémentation est de donner une couche cémentée qui, après trempe, est moins dure et plus irrégulière que celle obtenue avec un acier de cémentation ordinaire : l'addition de chrome aux aciers au nickel permet de remédier à cet inconvénient et d'obtenir de plus des aciers sans défauts physiques : en outre le chrome augmente la charge de rupture mais diminue un peu la résilience, il augmente la pénétration de trempe et rend la trempe homogène.

**Principaux aciers nickel-chrome.** — 1° Ni = 2,0-3,5, Cr = 0,3-0,8, C = 0,10-0,15 : nickel-chrome de cémentation.

Caractéristiques après trempe à 850° à l'eau pour basses teneurs en Cr et C à l'huile pour les autres :

$$R = 80-120, \quad A\ 0/0 = 15-9, \quad \varphi = 15-8;$$

est utilisé cémenté ou non cémenté en place de l'acier de même teneur en Ni et C sans Cr indiqué précédemment ;

2° Ni = 2,5-3,5, Cr = 0,5-0,8, C = 0,35-0,50 : acier nickel-chrome demi-dur. Caractéristiques après trempe à l'huile à 850° et revenu à 600°

$$R = 80-90, \quad A\ 0/0 = 12, \quad \varphi > 10;$$

utilisé pour vilebrequins, bielles, arbres de roues, boulons en automobile ;

3° Ni = 2,5-3,5, Cr = 0,5-0,8, C = 0,35-0,50 : acier nickel-chrome dur. Caractéristiques après trempe à l'huile à 850° et revenu à 600° :

$$R = 90-105, \quad E = 80-95, \quad A\ 0/0 > 10, \quad \varphi > 9;$$

pour vilebrequins, bielles, arbres de roues, pignons, matrices de forge ;

## 4° Aciers auto-trepants

$$\text{Ni} = 5,5-6,5, \quad \text{Cr} = 1,3-3,0, \quad \text{C} = 0,1;$$

après trempe à l'air à 850° :

$$\text{R} = 130-150, \quad \text{E} = 125, \quad \text{A } 0/0 = 8, \quad \varphi = 8;$$

$$\text{Ni} = 4,3-5,0, \quad \text{Cr} = 1,2-1,5, \quad \text{C} = 0,2-0,30,$$

et

$$\text{Ni} = 3,5-5,0, \quad \text{Cr} = 1,5-2,0, \quad \text{C} = 0,30-0,40;$$

après trempe à l'air à 850° :

$$\text{R} > 170, \quad \text{A } 0/0 > 7, \quad \varphi = 4-7;$$

utilisés pour arbres, bielles, boulons, goujons, fusées et après cémentation de 2 à 3 dixièmes de millimètre suivie d'une trempe à l'air ou à l'huile pour engrenages.

**Revenu des aciers nickel-chrome.** — Certains aciers nickel-chrome augmentent de fragilité par un séjour prolongé à la température de 500°. Ce phénomène est quelquefois désigné sous le nom de maladie de Krupp.

Les causes de cette anomalie ne sont pas encore connues.

Guillet et Ballay ont déterminé l'influence de certains éléments sur cette aptitude à la fragilité des aciers nickel-chrome : ils ont trouvé que les éléments suivants : C, Si, Ni, Va, W ont une influence très faible et que, au contraire, Cr, Mn, P, Az, augmentent la susceptibilité de l'acier à devenir fragile.

Le molybdène le fait disparaître : cette susceptibilité est d'autant plus accusée que la température de trempé est plus élevée. Dans la presque totalité des cas, on peut éviter la fragilité de revenu en diminuant la durée du revenu et en refroidissant rapidement après revenu par immersion dans l'huile. On peut détruire les tensions qui en résultent par un revenu à 400° qui est sans influence sur la fragilité.

**Principaux types d'aciers au nickel complexes.**

$$\text{Ni} = 3, \quad \text{Mo} = 0,5, \quad \text{C} = 0,10;$$

après trempe à l'eau à 850° :

$$\text{R} = 130, \quad \text{A } 0/0 = 8, \quad \varphi = 7;$$

utilisé après cémentation et trempe pour chemin de roulement à billes, axes de piston :

$$\text{Ni} = 3, \quad \text{Mo} = 0,5, \quad \text{C} = 0,35;$$

après trempe à l'huile à 825° et revenu entre 250 et 600° :

utilisé comme vilebrequin de moteurs d'avion :

$$\text{Ni} = 6-7, \quad \text{Va} = 0,2-0,4, \quad \text{C} = 0,25-0,30;$$

après trempe à l'eau à 850° :

$$\text{R} = 110-140, \quad \text{E} = 95-120, \quad \text{A} = 0/0 = 10-8;$$

moins fragile après trempe qu'avant : utilisé pour arbres, fusées, bielles.

$$\text{Ni} \leq 2, \quad \text{Cr} \leq 1, \quad \text{Mo} = 0,75-2,0, \quad \text{C} = 0,30-1,10;$$

utilisé pour la fabrication des matrices : trempés à l'air ou à l'huile suivant leur composition et revenu

$$\text{Ni} = 4,5-4,7, \quad \text{C} = 0,20-0,40, \quad \text{W} = 2,0-2,5 \text{ ou } \text{Mo} = 0,7-1,0, \quad \text{C} = 0,15-0,40$$

trempe à l'air utilisé pour soupapes

**Aciers à haute teneur en nickel austénitiques :**

$$\text{Ni} = 25-32, \quad \text{C} = 0,250-0,300.$$

Caractéristiques :

$$\text{R} = 70-85, \quad \text{E} = 45-60, \quad \text{A} = 0/0 = 40-30.$$

utilisé pour soupapes, tubes :

Il résiste bien à la corrosion de l'acide acétique, des alcalis, des atmosphères humides, de l'acide nitrique. Il se comporte mal dans les acides chlorhydrique et sulfurique : il résiste mal à la vapeur surchauffée qui provoque la formation de fissures qui se propagent jusqu'au cœur en suivant les bords des grains, on remédie à cet inconvénient par des additions importantes de chrome.

$$\text{Ni} = 36, \quad \text{C} = 0,250-0,300. \quad \text{Métal Invar.}$$

Son coefficient de dilatation est pratiquement nul entre - 50° et + 100° utilisé pour la fabrication des balanciers et spiraux de montres, fils pour la mesure des bases géodésiques.

$$\text{Ni} = 46, \quad \text{C} = 0,250-0,300. \quad \text{Platinite.}$$

Sa dilatabilité est la même que celle du verre : constitue les fils qui traversent les parois en verre des lampes électriques.

$$\text{Ni} = 50, \quad \text{Fer} = 50 \text{ sans carbone.}$$

Sa perméabilité après traitement thermique est plus de dix fois supérieure à celle du fer pur pour les champs magnétiques faibles avec un maximum vers 50.000 gauss ; est utilisé dans la fabrication des noyaux de transformateurs et d'appareillages en T. S. F.

$$\text{Ni} = 78, \quad \text{Fe} = 22 \text{ sans carbone.} \quad \text{Permalloy.}$$



Sa perméabilité est cinquante fois celle du fer pur dans les champs magnétiques très faibles, son hystérésis est très faible, la valeur de saturation est moitié de celle du fer pur ; est utilisé dans la construction des câbles sous-marins.

Ni = 7-8, Cr = 16-20, C = 0,10-0,30.

Caractéristiques après recuit :

R = 60-70, E = 22-28, A 0/0 = 40-30 ;

résiste aux solutions d'acide azotique et d'acides organiques : sa résistance vis-à-vis des solutions d'acide chlorhydrique, sulfurique, sulfureux, des sulfate et chlorure d'ammonium est moins bonne ; on l'améliore par une addition de 2 à 3 0/0 de molybdène. Ce métal très malléable est obtenu en tôles, il n'est pas magnétique et se soude facilement.

Ni = 38-40, Cr = 11-12 ;

n'est plus sujet à la corrosion fissurante des ferro-nickels que nous avons signalée ci-dessus. Il est utilisé dans la fabrication des ailettes de turbines à vapeur, pour les soupapes des moteurs d'avions. Une addition de tungstène augmente sa résistance mécanique aux températures élevées.

Ni = 34-39, Cr = 10-12, W = 1-2, Mn = 1-2 ;

*elinvar*, dont le module élastique est invariable à la température ordinaire : utilisé en horlogerie dans la fabrication des spiraux.

Ni = 75-80, Cr = 25-10, Fer = différence.

présente une grande résistance à l'oxydation aux températures élevées utilisés pour fils pour fours électriques à résistance, moules de verrerie, caisses pour la cémentation et le recuit, parties métalliques exposées au feu, couple thermoélectriques.

### Fontes au nickel et au nickel-chrome

Le nickel favorise dans les fontes la transformation de la cémentite en graphite et perlite ; il rend plus fines et plus régulièrement disséminées les particules de graphite : il augmente la charge de rupture et la dureté des fontes, il en diminue la porosité et la tendance à tremper. Cette dernière action est intéressante dans le cas des moulages de faible épaisseur. Le chrome agit de façon différente, il tend à affiner les grains de la fonte, mais il la durcit par suite de la formation d'un carbure de fer et de chrome ; en réglant les proportions de Cr et Ni, on obtient des fontes sans grains, durs même dans les

parties minces, et on améliore la résistance sans augmenter les difficultés d'usinage.

Composition de fontes au Ni-Cr :

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	
3,35-3,4	2,2-2,40	0,65	< 0,125	0,2-0,6	0,60-2,0	0,2-0,45	Cylindres d'automobiles.
3,30-3,4	2,4-2,50	0,60	< 0,10	< 0,2	0,67-1,5		Pistons d'automobiles.
3,00-3,5	1,0-1,50	0,50	< 0,10	< 0,2	1,25-1,5		Segments de pistons.
3,35-3,4 3,5	1,2-1,75 3,0	0,70 0,60	0,08 < 0,07	< 0,2 0,3	0,70-3,0 2-5		Engrenages. Grils de résistances électriques.

### Cobalt.

**Minerais.** — Les minerais les plus connus sont : la smaltine, arséniure de cobalt ( $\text{CoAs}^2$ ) et la cobaltine, sulfure double de cobalt et d'arsenic  $\text{CoAs}^2\text{CoS}^2$ . Comme matière première pour l'obtention du cobalt, l'on utilise également les mattes et speiss formées au cours du traitement des minerais de nickel cobaltifères.

**Métallurgie.** — Le minerai est grillé, puis dissous au moyen d'acide chlorhydrique ou sulfurique. Au moyen d'un courant d'hydrogène sulfuré, l'on précipite le cuivre, le plomb, le bismuth, etc. : le fer peroxydé à l'aide de chlorure de chaux est ensuite précipité au moyen de calcaire broyé. De la solution neutre, le cobalt est précipité à l'état de sesquioxyde par le chlorure de chaux ajouté avec précaution pour éviter la précipitation du nickel.

Le cobalt peut être extrait par un procédé analogue du nickel métallique cobaltifère.

L'oxyde de cobalt est ensuite réduit comme il a été expliqué pour le nickel.

**Propriété du cobalt.** — Usages :

*Densité* : 8,7 ;

*Point de fusion* : 1.477°.

A l'état métallique, il est employé dans la fabrication de certains aciers spéciaux et d'un nouvel alliage pour outils : le stellite. Ses sels sont utilisés pour la coloration des verres, des émaux, des por-

celaines. Le « smalt » ou « azur », qui se prépare directement à partir des minerais est un silicate de potassium et de cobalt (70 0/0  $\text{SiO}_2$ , 6,5 0/0  $\text{CoO}$  et 20 0/0 de potasse) employé pour la peinture sur porcelaine.

**Production et prix.** — Les expéditions de minerais et concentrés de ce métal faites, en 1919, de Cobalt (Canada), représentaient 250 tonnes environ de métal pur. L'oxyde s'est vendu de 1,50 à 1,65 dollar la livre de 453<sup>gr</sup>,6 et le métal pur, de 2,50 à 3 dollars.

### Antimoine.

**Minerais.** — Les minerais d'antimoine sont la stibine,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  et les oxydes  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_4$ .

Le sulfure ne peut pas être enrichi mécaniquement au delà d'une certaine limite, 35 à 40 0/0, à cause des pertes occasionnées par la légèreté et la friabilité des aiguilles de stibine. On pratique sur ces matières enrichies, ou sur les minerais triés à la main, une *liqutation* basée sur la grande fusibilité du sulfure d'antimoine. On opère dans des creusets ou cornues à *fond percé*, par lequel s'écoule le *sulfure purifié* dit *antimoine cru*, séparé de ses gangues, mais encore allié à un peu de fer et qui demande un affinage pour donner le métal pur, tel qu'on l'emploie dans les alliages.

Depuis 1908, les minerais pauvres, ne ressuant pas par la chaleur, se traitent par oxydation et volatilisation de l'oxyde  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  dans des fours coulants (procédé Herrenschmidt). Le produit obtenu est un oxyde blanc à 80 0/0 de métal, qui constitue un excellent minerai.

L'antimoine est *volatil*, mais *pas assez* pour qu'on puisse lui appliquer les principes de la métallurgie du zinc. Il ne donne pas non plus la *réaction des oxydes et sulfates* sur les *sulfures*, on ne peut donc pas traiter les minerais par *grillage* et *réaction*.

On le traite dans le régule par grillage et réduction ou par précipitation par le fer métallique. Dans la méthode anglaise, le grillage se fait dans de *très petits fours* sur des charges de 100 à 200 kilogrammes afin de pouvoir régler la température, qui doit rester peu élevée pour éviter les pertes. Il faut, en tout cas, une *bonne condensation des fumées*. La fusion s'opère dans des petits fours gallois, à sole elliptique; on ajoute comme fondants du carbonate de soude et du chlorure de sodium pour recouvrir le métal d'une couche très liquide empêchant l'oxydation. Le procédé français, appliqué en grand aux usines de la Lucette (Mayenne), consiste à faire cette réduction dans un bain de sulfure de fer fondu et sur une sole formée par de l'antimoine fondu, qu'on coule à la cuiller.

Ce procédé, appliqué en grand depuis huit ans à la Lucette et à



Benose (Belgique), a été repris par la maison anglaise et américaine Crookson, il y a peu de temps.

**Grillage de la stibine.** — Cette opération a, dans la méthode française, une importance toute spéciale. On sait, en effet, que cette méthode consiste dans un grillage oxydant avec volatilisation de l'oxyde produit, que l'on réduit dans une autre opération; tandis que la méthode de précipitation par le fer qui est utilisée, surtout en Angleterre, se passe directement sur minerais riches.

Ce grillage oxydant et *volatilisant* se fait partout en fours à cuves à tirage forcé, sans soufflage. Les progrès à noter dans cette opération durant ces toutes dernières années sont assez importants.

Ils ont eu pour but : 1° de mieux recueillir l'oxyde; nous laissons de côté cette question d'ordre plus général, pensant la reprendre *bientôt*, en tant que progrès de la condensation des poussières; 2° de mieux utiliser l'antimoine contenu, et cela non seulement pour moins laisser d'antimoine dans les scories, lesquelles sont souvent aurifères et perdent de la valeur par suite de difficultés de traitement, lorsqu'il reste de l'antimoine.

Pour atteindre ce but, on fait très attention à la marche des matières dans le four.

A cet effet, M. Chatillon a pris un brevet fort intéressant dont nous avons vu tout récemment l'application pratique dans sa nouvelle usine de Blesles, certainement une des usines les plus modernes d'antimoine.

Les fours de grillage de cette usine sont constitués par deux fours à cuve, qui ont une section de 3 mètres carrés et une hauteur utile sur grille de 1<sup>m</sup>.50. Ces deux fours sont conjugués. C'est dire qu'ils sont placés dans un massif commun, qu'ils n'ont qu'une même voûte *c* et qu'ils sont rejoints au même conduit de vapeurs, ainsi que le représentent nettement les figures 52 et 53. La figure 52 est la coupe en long par AA et BB; la figure 39 la coupe en travers par EE et FF, les figures 54 et 55, les coupes CC et DD.

Ces fours sont de section rectangulaire. Leur caractéristique consiste en ce que chaque cubilot *a* et *c* est placé au-dessus d'un autre petit cubilot *b* et *d* qui reçoit les scories de dégrillage du four supérieur. Ceci pour achever l'épuisement du minerai. De plus ces scories échauffent l'air qui gagne le cubilot supérieur par les carneaux *f*, *g*, *h* et *i*, lesquels débouchent à deux niveaux différents dans le cubilot supérieur en  $f_1, f_2; g_1, g_2; h_1, h_2; i_1, i_2$ .

Chaque cubilot inférieur est muni sur deux faces de barreaux de grille très inclinés K, qui laissent pénétrer l'air, tout en formant une trémie qui est fermée par un registre *m*. Celui-ci permet, en s'ouvrant, d'enlever aisément les scories du four, qui tombent dans un wagon N.

Une autre caractéristique fort intéressante de ce système de cubi-

lots se trouve à la partie supérieure : le massif mitoyen *o* des deux fours s'arrête à environ 1 mètre de la voûte commune. Ce massif est

Fig. 53

Coupé EE, FF.

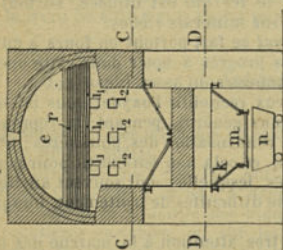
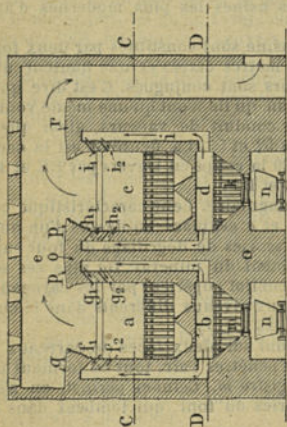


Fig. 52.

Coupé AA, BB.



Coupé DD, EE.

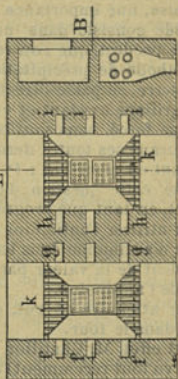


Fig. 55.

Coupé CC, FF.

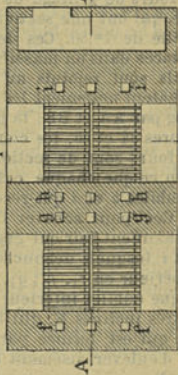


Fig. 54.

Grillage des minerais d'antimoine.

ainsi une sole d'environ 4 mètres de surface ; deux autres soles *q* et *r* sont établies sur les maçonneries de côté, au même niveau que la sole *o*. Ces soles reçoivent les minerais en poussière chargés par le sommet du four. Ils y entrent en fusion et le sulfure fondu s'écoule, grâce à des pentes aménagées dans le sens voulu, dans les cubilots. Ils traversent alors une certaine couche d'air chaud provenant, comme nous l'avons dit, des cubilots inférieurs. Il y a alors oxydation et volatilisation très rapides, sans qu'il s'ensuive une gêne quelconque dans le grillage du minerai en morceaux chargés directement.

D'ailleurs, lorsque le minerai déposé sur les soles a été ainsi épuisé, on déverse les résidus agglomérés dans les cubilots.

Tout récemment, M. Chatillon a ajouté à ses fours un dispositif fort ingénieux de décrassage mécanique.

Aux usines de Blesles, la capacité de chaque four est de 7 tonnes de minerai par 24 heures ; la quantité de coke utilisée est de 2.400 kilogrammes pour 24 heures pour les deux fours, ce qui correspond à 17 0/0 environ du minerai. Ce chiffre est incontestablement bas.

Enfin le décrassage du four se fait maintenant u moyen d'une grille mécanique fort ingénieuse et cependant très simple. On juge aisément le moment venu de décrasser ; en effet on voit très bien les scories ; si elles dégagent encore de l'oxyde d'antimoine, on aperçoit des fumées blanchâtres qui en partent, se dirigeant vers l'intérieur du four.

On voit que, grâce à ces dispositifs, le grillage de la stibine a fait, lui aussi, de réels progrès durant ces dernières années.

**Influence de la guerre sur la technique de la métallurgie de l'antimoine.** — Pendant la guerre M. Marcel Biver a fait faire à cette métallurgie un très grand progrès par le traitement direct au four à cuve des minerais oxydés d'Algérie. Ce traitement se pratique à Langeac (Haute-Loire). Il est impossible de savoir si la méthode sera viable après le rétablissement du cours normal ; elle a procure, en attendant, 300 tonnes de métal par mois en 1917, soit 50 0/0 de la production française, et il semble que l'avenir soit au traitement des minerais oxydés.

Le four électrique permettra, en outre, de réduire les minerais dans le voisinage des mines.

**Production de l'antimoine.** — Les principaux producteurs de minerais d'antimoine sont la France, l'Algérie, l'Italie, le Mexique et l'Australie ; la Hongrie, l'Autriche et les États-Unis viennent ensuite.

Quant au métal, sa production mondiale ne varie guère ; — 18.363 tonnes en 1908 contre 16.495 en 1911, — et se répartit entre la Chine (13.313 tonnes en 1912), la France (5.406 tonnes en 1912), le Mexique (4.100 tonnes en 1911), la Hongrie (859 tonnes en 1912), l'Italie (très faible) et le Japon (80 tonnes en 1912).



Pendant la guerre la France a vu sa production baisser, puis remonter au niveau de 1912.

	1915	1916	1917
Production.....	tonnes 3.426	tonnes 4.598	tonnes 5.200

**Déchets et prix de revient.** — La liquation d'un bon minerai, à 45 0/0 d'antimoine, coûte environ 100 francs par tonne de sulfure liquaté, et le déchet est d'au moins 18 à 20 0/0 avec une bonne condensation.

La liquation d'un minerai quartzeux à 18 0/0 d'antimoine coûte 180 francs par tonne de sulfure obtenu. Au-dessous de cette teneur, le minerai *n'est plus traitable* que par le four coulant, à oxyde.

Le raffinage au moyen de la précipitation par le fer coûte 120 à 125 francs par tonne traitée. Déchets, environ 6 0/0.

**Marché des minerais d'antimoine.** — Ce marché se trouve presque entièrement concentré à Londres. La tendance est de vendre plutôt des sulfures naturels riches que des sulfures liquatés. Le cours de l'antimoine métallique, dit *régule d'antimoine*, à Londres, s'exprime en livres sterling et par tonne de 1.016 kilogrammes, moins 2 1/2 0/0 d'escompte.

On paie les minerais d'après la formule:

$$p = \frac{t}{100} \left( 1 - \frac{1}{a} \right) (c - f),$$

$p$  = prix de 1.000 kilogrammes de minerai;

$t$  = teneur, en centièmes constatée par voie sèche;

$\frac{1}{a}$  = déchet de fabrication donné par l'échelle;

$c$  = cours du régule en francs et par tonne de 1.000 kilogrammes;

$f$  = frais de fusion bonifiés à l'acheteur.

Voici comment est fixée la valeur de  $\frac{1}{a}$  pour un minerai de bonne qualité :

TENEUR DU MINÉRAI	VALEUR DE $\frac{1}{a}$
55 0/0 et au-dessus.	9 0/0
50 à 55 0/0	10 —
45 à 50 —	11 —
40 à 45 —	15 —
35 à 40 —	18 —
30 à 35 —	20 —
30 0/0 et au-dessous.	25 —

elle varie de 350 à 500 francs, suivant les circonstances et qualités.  
**Propriétés de l'antimoine. — Ses emplois. — Ses alliages.**

*Densité* : 6,69 ;

*Point de fusion* : 629° ;

*Point de volatilisation* : 1.460° ;

*Conductibilité électrique* : 0,035 de celle de l'argent.

L'antimoine s'emploie exclusivement à l'état d'alliage ; c'est un durcissant ; allié au plomb, il garde sa personnalité ; avec l'étain, il agit par la formation d'une combinaison Sb-Sn. Il entre dans la composition d'un grand nombre d'alliages antifriction.

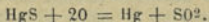
**Production mondiale.** — Considérablement développée durant la guerre :

Années.....	1913	1914	1915	1916	1917	1918
Production mondiale...	21.400	24.400	35.400	78.700	54.300	— t.
— française...	6.390	1.545	2.834	4.395	4.534	2.056 t.

## Mercure.

**Minerais.** — Le cinabre, sulfure de mercure HgS, est le seul minéral de mercure important ; sa teneur en mercure varie de 0,5 à 30 0/0. Les minerais à 5-6 0/0 sont riches ; à 0,3 0/0, ils sont pauvres.

**Métallurgie.** — Le mercure est extrait par grillage oxydant :



Le grillage est effectué dans des fours spéciaux, tel le four Cermak Spirek ; dans ce four à chauffage latéral, le minéral tombe en cascade sur des prismes triangulaires horizontaux disposés en chicane. Les gaz de grillage circulent en sens inverse du minéral. A la rangée inférieure, le minéral est soumis à la plus haute température venant

du foyer, 800° environ. Il est ensuite utilisé à chauffer l'air de combustion et est évacué du four à 30° environ.

La condensation des vapeurs de mercure entraînées avec les gaz de grillage est effectuée dans des tubes en fonte avec garnissage de ciment, de section elliptique ; ces tubes ont remplacé les aludels employés anciennement.

Les fours modernes marchent tous en faible dépression avec ventilation ; les pertes ne sont que de 6 0/0 de mercure contenu dans le minéral.

Le mercure se condense sous forme de métal mélangé de produits entraînés ; le tout forme une sorte de suie, la « stupp ». On la comprime dans une presse spéciale pour en extraire le mercure ; le résidu, mis en briquettes, additionné de chaux, est passé au réverbère.

**Pays producteurs.** — L'Espagne fournit environ 34 0/0 de la production mondiale ; le reste provient d'Italie (23 0/0), d'Autriche (20 0/0) et des États-Unis (19 0/0) ; depuis 1905, le Mexique est devenu pays producteur, tandis qu'en Asie Mineure (Anatolie), on reprend l'extraction aux mines voisines de Koniah, connues et exploitées par les Phrygiens environ 3.000 ans avant Jésus-Christ.

**Propriétés du mercure. — Ses emplois :**

*Densité :* 13,55 ;

*Point de fusion :* — 38°,6 ;

*Point d'ébullition :* 357° ;

*Conductibilité électrique :* 0,017 de celle de l'argent.

Il est utilisé dans la métallurgie de l'or et de l'argent, pour la fabrication du vermillon en vue de la préparation des feutres, pour la fabrication du fulminate de mercure, pour l'établissement de certains appareils de physique.

**Marché.** — La consommation annuelle de mercure est d'environ 4.000 tonnes. Le marché principal est à Londres. La vente se fait par bouteille ou « flask » de 34<sup>kg</sup>,5. Le cours est exprimé en livres sterling par bouteille.

**Production.** — Ci-après un tableau donnant les derniers chiffres statistiques parus sur la production du mercure dans les principaux pays producteurs du monde entier.



TONNES MÉTRIQUES EN	1913	1919	1920	1921	1922	1923
Espagne .....	1.200	1.200	900	600	1.300	1.900
Italie .....	1.000	500	1.300	1.100	1.300	1.600
Autriche-Hongrie.....	900	—	—	—	—	—
Asie.....	—	100	100	100	100	100
Californie.....	600	500	300	100	200	200
Monde entier.....	4.000	2.600	2.800	2.100	3.300	4.000

Production mondiale en 1926 : 3.929 tonnes.

**Prix.** — En 1919, le prix pour le marché intérieur, à la mine, a été fixé en Espagne à 451 pesetas (87 dollars) la bouteille de 34<sup>kg</sup>,507 (76 livres anglaises).

Prix moyens du marché américain pour 1919 :

ANNÉES	1913	1919	1920	1921	1922	1923
En dollars par bouteille standard de 75 lbs	39,54	92,15	81,123	45,462	58,946	66,502
En dollars par kg	1,16	2,71	2,19	1,34	1,73	1,95

Prix en 1926, en dollars par bouteille de 75 lbs : 91,90 ; en dollars par kilogramme : 2,70.

### Aluminium.

Le seul minéral d'aluminium est la *bauxite*, qui tire son nom de celui du village des Baux (Bouches-du-Rhône) où on l'a découverte.

C'est un hydrate d'alumine qui renferme au maximum 80 0/0 de cet oxyde ( $Al_2O_3, 2H_2O$ ). Industriellement, on distingue les *bauxites blanches*, souvent riches en silice, et les *bauxites rouges*, colorées par l'oxyde de fer. Avant la guerre, on ne traitait que les bauxites renfermant plus de 55 0/0 d'alumine, en payant une surprime pour des teneurs supérieures à 60 0/0. On demandait que la silice ne dépassât pas 3 0/0 et l'on payait une prime au-dessous de 2 0/0 de silice. On admet jusqu'à 14 0/0 d'oxyde de fer et l'on fait payer une pénalité au-dessus de cette teneur.

La cryolithe, qui intervient dans la fabrication, est un fluorure double d'aluminium et de sodium que l'on trouve dans la nature, en très grande abondance au *Groenland*.

Les bauxites sont exploitées en France, dans les départements des *Bouches-du-Rhône*, du *Var*, de la *Lozère*, de l'*Ariège*, de l'*Hérault*. On les trouve aussi en *Auvergne*, mais les gisements de *Provence* passent pour les plus riches du monde.

A l'étranger, on rencontre des gisements de bauxite en *Irlande*, dans le *Piémont*, au *Canada* et aux *États-Unis*. Il en existe également en *Carinthie*, en *Styrie* et dans les îles de la côte *Dalmate* ainsi qu'en *Hongrie*.

Leur qualité inférieure ou leur faible teneur les avait fait négliger jusqu'à la guerre, mais les Empires centraux, privés des bauxites françaises, ont dû y faire appel alors et les ont traitées, ou fait traiter, en Suisse, en quantités importantes.

L'Allemagne a, en outre, fait d'importantes recherches, pour exploiter les argiles comme minéral de manganèse. Malgré les publications sensationnelles faites en 1920 (Voir notamment, *Revue de Métallurgie*, XVII<sup>e</sup> année, n<sup>o</sup> 6...). Sur le succès de ces tentatives, il ne semble pas que la méthode trouvée ait pu être appliquée industriellement.

En Norvège, l'industrie de l'aluminium se préoccupe d'utiliser le feldspath, minéral indigène à 30 0/0  $Al_2O_3$ , — soit 16 0/0 Ae. — pour en extraire le métal. Si le succès couronnait ces efforts, la Norvège deviendrait indépendante des bauxites françaises.

**Métallurgie de l'aluminium.** — *Principe de la méthode actuelle.* — Aucune des méthodes d'affinage connues n'étant applicable à l'aluminium, la nécessité s'impose d'obtenir du premier coup le métal à l'état pur. Or, le principe de la fabrication repose sur l'électrolyse d'une solution d'alumine dans la cryolithe fondue. On est donc amené à n'opérer que sur de l'alumine pure, c'est-à-dire à purifier le minéral avant réduction.

**Traitement de la bauxite pour la préparation de l'alumine pure.** — On produit un aluminate de sodium soluble dans l'eau qui permet de séparer l'alumine des produits insolubles, notamment de l'oxyde de fer et de la silice, puis on décompose la solution d'aluminate soit par voie sèche (procédé Deville perfectionné par Péchiney), soit par voie humide (procédé Bayer).

Le *procédé Deville* produit l'aluminate de sodium par grillage au four à réverbère d'un mélange de bauxite et de carbonate de soude.

On lave le résidu à l'eau bouillante, on filtre et on précipite la silice restée en dissolution en chauffant la liqueur à l'autoclave sous une pression de 6 kilogrammes. La silice passe à l'état de silico-aluminate de sodium insoluble. Après quoi, on précipite l'hydrate d'alu-

mine par l'acide carbonique fourni par des fours à chaux et l'on calcine le carbonate.

Dans le *procédé Bayer*, la bauxite, finement pulvérisée, est traitée par une solution concentrée de soude caustique, en autoclaves avec agitateurs.

La silice précipite comme précédemment à l'état de silico-aluminate de sodium.

Après dilution, décantation et filtration, on abandonne l'aluminate de sodium dans des cuves à l'air; il se décompose de lui-même et l'hydrate d'alumine précipite d'autant plus vite qu'on a soin d'ensemencer le liquide d'une certaine quantité d'hydrate.

**Préparation de l'aluminium.** — Le principe en a été donné plus haut (Voir les études de M. Pascal, dans la *Revue de Métallurgie*, n° 10, année 1914, sur cette fabrication).

L'électrolyse de l'alumine en solution dans la cryolithe fondue s'opère à 950°, dans un four électrique à courant continu. Ce four est à électrodes multiples et sole conductrice (soit en totalité, soit en partie: pisé, dans le premier cas, électrodes noyées dans la sole, dans le deuxième cas).

Les fours sont généralement rectangulaires avec trou de coulée sur le grand côté; on les monte en ligne, en série.

Le courant utilisé est de 1,5 à 3 ampères par centimètre carré de section d'électrodes sous 8 à 10 volts. Le rendement est pratiquement de 30 grammes par kilowatt-heure, soit 160 kilogrammes par cheval-à.

La consommation de matières premières par kilogramme d'aluminium produit est théoriquement de 1<sup>re</sup>,888 d'alumine, et pratiquement de 2 kilogrammes d'alumine et 100 grammes de cryolithe. On compte, en sus, 900 grammes d'anodes.

Avant la guerre, le prix de revient était d'environ 1 fr. 30 le kilogramme.

#### Propriétés physiques de l'aluminium.

*Poids atomique* : 26,97 ;

*Densité* : 2,65 à 2,70 ;

*Chaleur spécifique à 20°* : 0,2143 ;

*Conductibilité thermique* : absolue = 0,50 cal/cm<sup>3</sup>/sec/deg ;  
relative = 39 0/0 (Argent 100 0/0) ;

*Coefficient de dilatation linéaire de 20° à 100°* : 0,000024 ;

*Retrait* : 17<sup>mm</sup>,5 par mètre ;

*Point de fusion* : 658°,7 C. ;

*Température de recuit* : 350° C. ;

*Température de volatilisation* : dans l'air : 1.800° C. ;  
dans le vide : 1.100° à 1.200° C.

*Résistivité* : 2,86 microhms/cm, cm<sup>2</sup> (écroui) ;

*Coefficient de température* :  $\alpha = 0,004$  dans la formule  
 $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$ .



## Propriétés mécaniques de l'aluminium.

	R	E	A 0/0	$\Delta$	$\epsilon$
Moule en sable ...	6-7	3-3,5	10		
Moule en coquille .	6-7	3-3,5	15		
Laminé et recuit .	10-12	5-6	20	30	5
Laminé et écroui	17-18	15-16	45	60	1

Module d'élasticité 6.000 à 7.000 kilogrammes par millimètre carré.

**Alliages d'aluminium.** — De nombreux alliages ont été essayés, principalement dans le but d'améliorer les caractéristiques mécaniques de l'aluminium.

Nous indiquons ci-dessous les plus importants ayant donné lieu à de multiples applications industrielles.

1° ALLIAGES A HAUTE TENEUR EN ALUMINIUM. — a) *Alliages légers à haute résistance.*

*Type Duralumin.* — Sa composition est la suivante :

Aluminium = 94,95 ;                      Cuivre = 3,54 ;  
Magnésium = 0,5 ;                      Manganèse = 0,5 ;  
Silicium = 0,4 (indispensable).

Avec de faibles variantes dans la composition, ils sont livrés sous des noms divers : en France, alfénum, alugyr, duralumin, etc... en Allemagne, duralumin, lताल...

*Fabrication.* — Coulés sous forme de billettes ou de plaques, ils sont laminés, forgés, filés, étirés, tréfilés, estampés... le travail de dégrossissage s'effectuant à 425°.

Ils sont recuits entre 350 et 400° et trempés à 475°. (Pour cette opération, le chauffage se fait dans des fours à bain de sel ou des fours électriques; mais l'emploi de ces derniers peut entraîner, s'il est mal étudié, une élévation du prix de revient et une moindre régularité de température.)

*Propriétés.* — Les caractéristiques mécaniques à la traction passent de :

R = 20 kg. environ à l'état recuit, à 40 kg. env. quelques jours après trempe.  
 E = 12 kg. — — — — — 25 kg. — — — — —  
 A = 18 0/0 — — — — — 20 0/0 — — — — —

A noter que ces alliages conservent immédiatement, après trempe, des caractéristiques analogues à celles de l'état recuit. Elles croissent avec un revenu, qui, pour la plupart d'entre eux, se produit à la température ordinaire après deux jours environ et pour ceux qui contiennent seulement du cuivre (4 0/0 par exemple) exige une température de 150° à 180° (1).

La présence du silicium, impureté de l'aluminium, paraît indispensable.

Densité, 2,8 environ ;

Température de fusion, 650° environ ;

Module élastique, 7.500 kgmm<sup>2</sup> ;

Résistivité, varie de 3,2 à 4,8 microhms-cm<sup>2</sup> suivant la composition et le traitement.

Coefficient de température  $\epsilon = 0,0030$  dans la formule  $R_t = R_0 (1 + \epsilon t)$ ,

Au point de vue chimique, ces alliages ne sont pas attaqués par H<sup>2</sup>S et le sont peu par les solutions très diluées ou très concentrées de NO<sup>3</sup>H.

*Applications.* — Aviation (nombreux avions en duralumin déjà parfaitement au point pendant la guerre) ; automobile (bielles), chemins de fer, tramways, industrie chimique...

b) *Alliages de fonderie.* — Nous citerons les alliages suivants :

Aluminium = 92 ; Cuivre 8 de caractéristiques ; R = 12 à 15 ; A 0/0 = 1 à 2 ;  
 $\Delta = 60$  ; densité = 2,65.

Al = 88 ; Cu = 2 ; Zinc = 10 de caractéristiques ; R = 12 à 17 ;  
 A 0/0 = 2 à 4 ;  $\Delta = 55$  ; densité = 2,95

qui sont très utilisés pour la fabrication des carters.

Aluminium = 88 ; Cuivre = 12 de caractéristiques ; R = 13 à 18 ;  
 A 0/0 = 1 à 2 ;  $\Delta = 70$  ; densité = 2,9.

qui conserve ces propriétés à chaud, d'où son utilisation pour la fabrication des pistons de moteurs à explosion.

(1) Des caractéristiques mécaniques très remarquables ont été obtenues en France dès 1919 par des additions de Zn (R = 55 kgm/m<sup>2</sup>, E = 45, A = 20 0/0).

Aluminium = 95; Silicium = 5 de caractéristiques; R = 12 à 14.  
A 0/0 = 3 à 7;  $\Delta$  = 40; densité = 2.7

qui présente une grande facilité de moulage.

L'Alpax dont la composition est la suivante :

Aluminium = 86 à 89; Silicium = 11 à 14

est utilisé pour la fabrication des carters, pistons, culasses, blocs-moteurs, roues, ponts arrière, etc., a pour caractéristiques mécaniques :

R = 19; A 0/0 = 5 à 8;  $\Delta$  = 48 à 52; densité = 2,65.

Conductibilité thermique : 0,40 cal/cm<sup>3</sup>/sec par degré;

Coefficient de dilatation : 0,0000212;

Retrait : 11 millimètres par mètre.

Pour les moulages en coquille, on utilise les alliages de composition suivante :

Aluminium = 95; Silicium = 5 déjà signalé

Aluminium = 90; Cuivre = 10 de caractéristiques;

R = 14 à 20; A 0/0 = 1 à 3;  $\Delta$  = 85 à 110; densité = 2,85.

Aluminium = 90; Cuivre = 4,5; Silicium = 5,5 de caractéristiques;

R = 14 à 20; A 0/0 = 1 à 4;  $\Delta$  = 65 à 80; densité = 2,75.

Pour les moulages sous pression on utilise plutôt :

Aluminium = 95; Cuivre = 2; Silicium = 3 de caractéristiques;

R = 17 à 20; A 0/0 = 3 à 6;  $\Delta$  = 55 à 85; densité = 2,7.

Aluminium = 91; Cuivre = 4; Silicium = 5 de caractéristiques;

R = 19 à 21; A 0/0 = 2,5 à 4;  $\Delta$  = 60 à 70.

Aluminium = 87; Silicium = 13 de caractéristiques déjà signalées.

2° ALLIAGES A FAIBLE TENEUR EN ALUMINIUM. — Bronzes d'aluminium, créés par Sainte-Claire Deville; composition variant autour de :

Cu = 10,

Al = 90,

avec addition parfois de Mn (Voir p. 282).

Usages divers de la bauxite. — On emploie encore la bauxite pour la fabrication des sels d'alumine et de l'alun. Dans ce dernier cas, on emploie la variété blanche, très pauvre en fer.

Les prix de vente varient entre 46 et 48 francs la tonne, franco sur wagon gare départ, pour la rouge, et 80 francs pour la blanche. Bas des contrats, 60 0/0 d'aluminium avec un maximum 3 0/0 de SiO<sub>2</sub> (bauxite pour aluminium) et 3 à 4 0/0 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (bauxite pour produits chimiques).



On commence aussi à employer beaucoup de bauxites pour la fabrication des briques réfractaires, pour les revêtements basiques des fours Martin et, en général, pour le raffinage des métaux sur sole.

### Production de l'aluminium

ANNÉES	1922	1923	1924	1925	1926	1927
Allemagne.....	13.500	16.400	18.700	26.200	29.500	28.000
Angleterre.....	5.000	8.000	12.000	15.000	7.200	8.000
Autriche-Hongrie.....	1.500	1.500	2.200	3.000	2.700	3.000
Canada.....	10.000	10.000	8.000	8.000	17.900	25.000
États-Unis.....	50.000	58.500	68.300	62.000	89.300	70.000
France.....	12.000	17.000	18.500	20.000	20.500	25.000
Italie.....	800	1.500	2.000	1.800	1.800	2.300
Suisse.....	15.000	15.000	20.000	22.000	19.600	20.000
Norvège.....	4.900	13.300	22.000	22.000	21.500	20.000
Monde entier.....	60.000	140.700	171.700	180.000	210.000	201.300
Prix à New-York en cents par lb.....	18,68	25,41	27,03	27,19	26,99	»
En dollars par 1.000 kgs.....	411,83	560,10	595,91	599,44	595,03	»

### Magnésium.

**Minerais.** — Pour l'élaboration du magnésium, l'on part toujours du chlorure de magnésium provenant des gisements de carnallite ou résultant des traitements d'autres composés magnésiens naturels.

**Métallurgie.** — Le magnésium est obtenu par électrolyse du chlorure fondu. L'opération est effectuée dans des creusets en acier qui constituent les cathodes; l'anode placée au centre du creuset est en carbone. Un courant de gaz d'éclairage amené au-dessus du bain permet d'opérer à l'abri de l'air.

#### Propriétés du magnésium. Ses emplois

*Densité* : 1,74 ;

*Point de fusion* : 651° ;

*Point d'ébullition* : 1.120°.

Pur, il est malléable mais pas ductile. Pour préparer des fils de magnésium, le métal fondu dans un moule en acier est pressé à la presse hydraulique à travers un orifice de diamètre égal à celui du fil qu'on désire obtenir.

Le magnésium est employé comme désoxydant pour certaines opérations métallurgiques très particulières, la malléabilisation du nickel en particulier. Il est employé également à la fabrication de métaux très légers, allié soit à l'aluminium (magnalium), soit au zinc. La propriété que possède le magnésium de brûler en donnant une flamme très photogénique fait utiliser la poudre de magnésium pour la photographie de nuit. Enfin le magnésium est utilisé pour la synthèse de certains corps organiques.

**Principaux alliages de magnésium :**

Mg = 95-94	Al = 5-6	utilisé à l'état coulé pour carters et pièces coulées d'aéronefs ;
Mg = 89	Al = 11	coulé pour pistons de moteurs à explosion ;
Mg = 87-89	Cu = 12-13	coulé pour pistons ;
Mg = 89-87	Zn = 1-5.5	Al = 0,5-5 avec souvent Cu + Mn en faible quantité, métalilectron, forgeable à l'état laminé et recuit R = 27, E = 15, A 0/0 = 15.

**Bismuth.**

**Minerais.** — Le bismuth existe à l'état natif, sous forme de sulfure  $\text{Bi}_2\text{S}_3$ , sous forme d'oxyde  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , sous forme de carbonate.

**Métallurgie.** — Les minerais contenant le métal à l'état natif sont fondus et la gangue scorifiée.

Le sulfure est grillé à 700° et réduit avec 3-5 0/0 de charbon ; ces deux opérations se font au réverbère. Si le minerai contient des sulfates autres que celui de Bi, il forme une matte qui se sépare facilement du métal en entraînant une certaine quantité de Bi. Ces mattes sont retraitées.

Les minerais oxydés sont épuisés par de l'acide chlorhydrique ; le bismuth est précipité par le fer. Le dépôt pulvérulent est fondu au creuset sous une couverture de charbon.

Le métal brut est raffiné électrolytiquement, ce qui permet d'en retirer les métaux précieux.

**Propriétés du bismuth. — Ses emplois :**

*Densité : 9,78 ;*

*Point de fusion : 269°.*

C'est le plus diamagnétique de tous les métaux.

Il est employé pour la fabrication de quelques alliages à très bas point de fusion ; il a quelques petits emplois en médecine et en parfumerie, sous forme de nitrate ou de carbonate.

## MÉTAUX PRÉCIEUX

## Or.

**Minerais.** — L'or peut se trouver dans les minéraux à l'état natif ou à l'état combiné ou dissous ; dans ce dernier cas, il peut exister dans des minerais où les métaux dominants sont autres que l'or, minerais de cuivre, de nickel, etc.

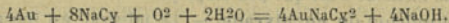
Dans les sables d'alluvion, l'or est toujours à l'état libre et peut s'amalgamer ; dans les quartz aurifères, l'or se trouve soit à l'état libre, soit à l'état d'or dit « réfractaire », parce qu'il n'est pas susceptible de s'amalgamer. Cet or existe à l'état de dissolution dans les sulfures, arséniures, etc. Il existe d'ailleurs des minerais aurifères dont l'or ne peut être extrait par aucun procédé connu actuellement.

Les diverses méthodes de la métallurgie de l'or sont les suivantes :

a) **Amalgamation.** — Le minerai broyé soit au moyen de bocards, soit de tube-mill, est mis en contact avec du mercure sur des tables à secousses. Il se forme un amalgame contenant un excès de mercure que l'on élimine par compression. L'amalgame séparé est distillé ; le mercure volatilisé est recueilli et l'or reste comme résidu.

b) **Cyanuration.** — Ce procédé convient au minerai contenant de l'or très divisé dissous, enrobé ou combiné. Il est souvent appliqué à des minerais ayant subi antérieurement l'amalgamation. Les minerais peuvent également avoir été grillés au préalable.

La réaction qui a lieu semble bien être :

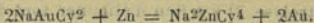


Le minerai à l'état de grande division est mis en contact avec une solution de cyanure de sodium et la masse est brassée au moyen d'un courant d'air ; il faut trente parties de cyanure pour une partie d'or.

Le liquide trouble est filtré sur filtres à aspiration soit discontinue (Moore, Butter), soit continue (Ridgway).

L'or contenu dans la solution est précipité soit par électrolyse, soit par le zinc, cette dernière façon d'opérer étant, à l'heure actuelle, de beaucoup la plus employée.

La réaction de précipitation par le zinc est la suivante :



En pratique, il faut de 30 à 90 parties de zinc pour précipiter 6,2 parties d'or.



L'on utilise le zinc sous forme de tournures fraîchement coupées, la solution circule sur cette tournure étalée sur du grillage.

L'or obtenu est pulvérulent ; pour le séparer du zinc en excès, on fait passer le dépôt dans un trommel ; les parties fines très riches en or passent à travers les trous ; elles sont traitées par l'acide sulfurique qui dissout le zinc. On filtre et fond au creuset.

Autrement : l'or divisé est aggloméré avec de la litharge et le mélange fondu avec du carbone ; l'on obtient du plomb aurifère que l'on coupelle (procédé de Tavernier).

Au lieu de tournures de zinc, l'on peut utiliser le gris de zinc qui se dépose dans les étouffoirs des usines à zinc. C'est le procédé Merrill. Le précipité est séparé par filtration au filtre-pressé. La précipitation est plus complète et plus rapide qu'avec les tournures de zinc ; en outre la consommation de zinc, est abaissée et la poudre de zinc coûte moins cher que les tournures.

La précipitation au moyen de poudre d'aluminium, bien qu'employée depuis plusieurs années, n'est pas encore sortie de la période d'essais.

La fusion de l'or pulvérulent obtenu par précipitation, présente de réelles difficultés ; le type de four assez fréquemment employé pour cette opération est le four Morgan, à récupération de chaleur sous sa forme la plus moderne.

Par la cyanuration, l'on arrive couramment à extraire 850/0 de l'or total décelé par l'analyse.

c) **Chloruration.** — (Procédés Plattner Mears). — Cette méthode employée pour les minerais très réfractaires consiste à transformer l'or en chlorure par action du chlore sur le minerai humide ; le chlorure est dissous et séparé par filtration ; puis l'or est précipité soit par le sulfate ferreux, soit par l'hydrogène sulfuré ; le sulfure est ensuite grille. Cette méthode n'est que peu employée.

d) **Emplombage ou encuvrage.** — Le minerai est incorporé à un lit de fusion de minerai de plomb ou de minerai de cuivre, de telle sorte que l'or est absorbé soit par des mattes de cuivre, soit par du plomb métal. Le minerai peut également être mis en contact avec du plomb fondu.

L'or est récupéré soit par électrolyse, dans le cas de l'encuvrage, soit par coupellation dans le cas de l'emplombage.

Ces procédés ne sont applicables que si une usine à plomb ou à cuivre se trouve dans le voisinage de la mine.

**Affinage.** — L'or obtenu par l'un des procédés ci-dessus est impur. Il existe un très grand nombre de procédés d'affinage, mais le plus employé est l'électrolyse. Il y a lieu d'éliminer tout d'abord les métaux autres que les métaux précieux. Pour cela le métal brut (bullion) est fondu dans des creusets avec des fondants appropriés :

borax, salpêtre, carbonate de soude. Ces anodes entourées d'un sac de coton sont électrolysées dans une solution d'azotate d'argent très étendue. L'or reste à l'anode à l'état pulvérulent ; il est recueilli dans le sac enveloppant l'anode. Par ébullition avec de l'acide azotique il est débarrassé des dernières traces d'argent et l'on arrive ainsi à une teneur en or fin supérieure à 999 millièmes.

L'on peut également électrolyser l'or dans une électrolyte formée d'une solution chlorhydrique de chlorure d'or ; l'or se dépose à un grand état de pureté à la cathode.

**Gisements aurifères en France.** — Divers gisements aurifères ont été mis en exploitation, depuis quelques années, en France, généralement avec succès ; il convient donc de donner à leur sujet quelques indications en vue de faciliter leur recherche et de guider ensuite les exploitants au point de vue du mode de traitement des minerais.

En général, dans les gîtes découverts jusqu'ici, l'or est en partie combiné avec des sulfures et des arsénio-sulfures, de sorte que la proportion d'or libre amalgamable est en général, assez faible et parfois nulle. Ce n'est donc que par l'analyse chimique par fusion plombeuse et coupellation du culot, qu'on peut déceler la présence du métal précieux.

**Recherche.** — Les terrains dans lesquels se rencontrent les gîtes aurifères en France sont, de préférence, les schistes siluriens et les terrains primitifs du Nord-Ouest, du Plateau Central et des Pyrénées. On s'occupe aussi des conglomérats de la base du terrain houiller du Gard et d'autres bassins qui contiennent aussi de l'or en quantité appréciable.

La plupart des recherches se font sur des filons quartzeux contenant soit du mispickel, soit de l'antimoine. Dans le Plateau Central, la présence d'une petite quantité de galène dans le remplissage filonien est considérée comme un indice favorable. Toutefois, on n'a pas pu jusqu'ici établir une connexité certaine entre la présence de certaines espèces minérales avec celle de l'or. Dans la mine de la Lucette, près Laval, l'antimoine et le mispickel accompagnent le métal précieux, tandis que, dans une autre mine célèbre, celle de la Bellière (Maine-et-Loire), il n'y a pas trace d'antimoine.

Aux mines de Bonnac, on a affaire à des filons-couches, interstratifiés dans des schistes et micaschistes anciens. Il en est de même dans les gisements de Glorianes (Pyrénées-Orientales).

Le mispickel se présente parfois en assez grande abondance pour supporter à lui seul les frais d'exploitation. L'or constitue alors un sous-produit qui reste dans le minerai de fer, résidu de la fabrication de l'acide arsénieux, d'où on l'extrait facilement en faisant entrer ce minerai grillé, qui constitue un excellent fondant, dans le lit de fusion d'usines à cuivre ou à plomb. Les mines de mispickel aurifère de l'Aude sont dans ce cas. Plusieurs d'entre elles vendent leur minerai

tel quel, le grillage et les opérations subséquentes se faisant alors dans des usines spéciales, particulièrement en Angleterre.

**Teneur.** — La teneur des minerais aurifères français varie entre des limites assez étendues : 10 à 12 grammes à la tonne dans les mispickels de l'Aude; 15 à 16 grammes à la Lucette et à la Bellière. Les mines du Chatelet (Creuse) accusent une moyenne très supérieure à ces chiffres, qui sont cependant très rémunérateurs, vu les facilités d'accès, de personnel, etc. En thèse générale, on peut considérer qu'une teneur de 15 à 20 grammes à la tonne de minerai tout-venant extrait (triage du stérile dans la mine non compris) est un chiffre très satisfaisant.

#### Propriétés de l'or. — Ses emplois.

*Densité* : 19,3 ;

*Point de fusion* : 1.064°.

*Résistance à la traction* : 41 kg/mm<sup>2</sup>.

**Marché de l'or.** — La plupart des usines productrices vendent le métal brut ; sa valeur dépend de sa teneur en or fin.

Le cours de l'or est déterminé par la monnaie légale de chaque pays.

**Production mondiale.** — Les statistiques donnent les chiffres de production d'or ci-après en milliers de dollars :

Années .....	1911	1912	1913	1914	1915
Milliers de dollars..	464.346,5	474.322,7	462.669,6	439.073,3	470.466,2
Années .....	1916	1917	1918	1919	1925
Milliers de dollars..	454.176,5	419.422	380.924	350.800	389.251

Le plus gros producteur, en 1926, a été le Transvaal : 309.650 kilogrammes ; les États-Unis : 71.171 kilogrammes ; le Canada : 54.384 kilogrammes ; le Mexique : 24.037 kilogrammes ; la Russie : 30.861 kilogrammes ; l'Afrique du Sud : 309.650 kilogrammes.

**Alliages or-argent.** — Sont formés d'une solution solide unique, sont plus durs et plus résistants que les métaux constituants ; leur couleur varie en portant de l'or du jaune au blanc pour Ag = 50 en passant par le vert.

Au = 70-73, Ag = 30-27, vert.

**Alliages or-cuivre.** — Le cuivre augmente la dureté de l'or sans diminuer sa malléabilité tant qu'il ne dépasse pas 10 0/0. En France, trois types légaux en joaillerie :

Au = 750,	Cu = 250,	avec tolérance de $\frac{3}{1.000}$
Au = 810,	Cu = 160,	—
Au = 920,	Cu = 80,	—
Au = 583,	Cu = 417,	pour l'exportation.



## Alliages or-argent-cuivre

Au = 9	Ag = 4 1/2	Cu = 10 1/2	} utilisés en joaillerie ;
12	3 1/2	8 1/2	
13	3	8	
Au = 62,5	Ag = 22,5	Cu = 15	} utilisés pour soudures ;
50	30	20	
Au = 11,5	Ag = 54,8	Cu = 28,2	Zn = 5,5 soudure tendre.

## Autre alliage d'or.

Au = 800. Cu = 40 Ni = 120 Zn = 40 comme succédané du platine.

## Argent.

**Minerais.** — L'argent existe à l'état natif et des quantités importantes d'argent ont été extraites de minerai le contenant à cet état. Le minerai le plus important est l'argyrose, sulfure d'argent  $\text{Ag}_2\text{S}$ . L'on trouve des quantités assez abondantes de combinaisons de l'argent avec les halogènes. Enfin il existe de l'argent dans un grand nombre de minerais où dominent d'autres métaux que l'argent (plomb, cuivre, nickel).

**Métallurgie de l'argent.** — a) *Amalgamation.* — Son principe et sa mise en œuvre sont ceux décrits pour l'or. Le minerai peut ou non être grillé avant amalgamation,

b) *Cyanuration.* — Comme pour l'or, précipitation comprise.

c) *Emplombage ou encuvrage.* — Il y a lieu de se reporter aux métallurgies du plomb et du cuivre où ont été indiqués les procédés de récupération de l'argent.

d) *Procédé à l'hyposulfite (Patera).* — Le minerai est soumis à un grillage chlorurant en présence du chlorure de sodium. Le minerai est lavé après grillage; le chlorure d'argent n'est pas dissous. On lave ensuite avec une solution d'hyposulfite de sodium qui dissout le sulfure de sodium. L'hyposulfite se trouve régénéré et du sulfure d'argent précipite.

Ce sulfure d'argent est emplombé, puis coupellé. L'on extrait ainsi de 70 à 85 0/0 de l'argent contenu dans le minerai. La consommation d'hyposulfite est de 1 à 3 kilogrammes par tonne de minerai et il faut de 8 à 10 0/0 de sel marin pour le grillage chlorurant.

e) *Procédé Ziervogel (usine de Mansfeld).* — Le minerai qui contient l'argent à l'état de sulfure est soumis à un grillage modéré; le sulfate d'argent formé est dissous par lessivage au moyen d'eau et l'argent est précipité de la solution au moyen de cuivre.

**Raffinage.** — L'IRIS LILLIAD Université Lille 1 argent d'éclair, contient comme principales impuretés du cuivre, du plomb, du bis-

muth. Ces impuretés peuvent être éliminées par fusion oxydante au contact de l'air avec du salpêtre ou du sulfate d'argent. Cette fusion peut être effectuée au four à réverbère dont la sole est faite de cendre d'os ou de marne, ou au four à creusets.

C'est à Londres que se tient le principal marché de l'argent.

**Production mondiale :**

nées.....	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917
Milliers de kg.....	7.906	6979,6	7001,6	4.996	5.768	5.247	5.418
Années.....	1918	1919	1920	1921	1922	1926	1927
Milliers de kg..	6.140	5536,7	5355,3	5350,5	6582,7	7780,5	7920,4

En 1927, à New-York, on cotait l'once de 31,1 en cents 56,370.

Les principaux producteurs sont les États-Unis et le Mexique.

Les prix moyens cotés à New-York en cents par once (31<sup>gr</sup>1) ou en dollars par kilogramme sont reportés ci-après.

ANNÉES	1912	1913	1919	1920	1921	1922
Cents par once de 31,1 gr.....	60,835	59,291	111,122	100,90	62,654	67,521
Dollars par kg.....	19,561	19,064	35,73	32,443	20,146	21,711

En décembre 1927, on cotait l'argent, à Paris, 480 francs le kilogramme.

**Propriétés de l'argent. — Ses emplois :**

*Densité* : 10,5 ;

*Point de fusion* : 942° ;

*Résistance à la traction* : 12 kilogrammes.

**Alliages argent-cuivre.** — Le diagramme présente un eutectique pour Cu = 40 qui fond à 800°, il y a une solution solide aux deux extrémités du diagramme. Le cuivre augmente la ténacité et surtout la dureté de l'argent. Dureté maximum pour Cu = 67, couleur blanche pour Cu < 50, légèrement jaune pour 50 < Cu < 70, rouge pour Cu > 70.

Emploi en orfèvrerie. Titres légaux en France.

Ag = 950    Cu = 50    tolérance de  $\frac{5}{1.000}$  en moins.

## Platine.

**Minerais.** — Le principal minerai de platine exploité est constitué par des sables dans lesquels le platine existe à l'état natif allié en proportions variables avec les métaux de son groupe : iridium, palladium, ruthénium, osmium, ainsi que de l'or, du cuivre, du nickel, du chrome et du fer, ce dernier en proportions pouvant atteindre 20 0/0.

L'Oural fournit environ 90 0/0 du platine employé dans le monde. Le reste provient des États-Unis, du Brésil, du Cap.

**Métallurgie.** — Les sables platinifères enrichis par lavage sont attaqués au moyen d'eau régale qui dissout le platine; cette attaque est répétée jusqu'à épuisement du minerai. La solution est décantée, puis concentrée. L'on verse une solution saturée de chlorure d'ammonium qui détermine la précipitation du platine à l'état de chloroplatinate d'ammoniaque et de l'iridium à l'état de chloro-iridiate. Le précipité est, par calcination, transformé en platine iridié à l'état de mousse que l'on fond au chalumeau oxyhydrique.

Les résidus insolubles de l'attaque à l'eau régale contiennent principalement de l'osmium d'iridium. Ce dernier est désagrégé par le zinc qui, après distillation, laisse une poudre contenant quelques impuretés et que l'on traite différemment suivant la composition.

La consommation mondiale du platine est d'environ 7.000 kilogrammes par an se répartissant comme suit :

Technique électrique.....	1.800 kilogrammes
Fabrication des dents artificielles.....	2.000 —
Appareils de concentration.....	2.000 —
Bijouterie, instruments de chirurgie et divers..	1.200 —

### Propriétés du platine. Ses emplois.

*Densité* : 21,5 ;

*Point de fusion* : 1.775° C. ;

*Résistance à la traction* : 25 kg/mm<sup>2</sup>.

Ses principales applications tiennent à son inaltérabilité à l'air et aux acides, l'eau régale exceptée.

Pur, le platine est mou ; pour lui donner de la dureté, on l'allie à d'autres métaux : le cuivre (pour la joaillerie), l'or (pour certains appareils de laboratoire), l'iridium (jusqu'à 23 0/0) qui augmente la dureté et l'inaltérabilité, le point de fusion du platine, mais diminue considérablement sa malléabilité ; le rhodium, pour les couples thermo-électriques.

Production **IRIS LILLIAD** Université Lille 1 Platine neuf a été la



suivante en ces dernières années :

Années .....	1915	1916	1917	1918	1920
Kilogrammes.....	4.640	3.680	4.660	1.910	1.750

Le prix du platine est passé de 2.910 francs le kilogramme en 1900, 7.500 en 1914 et à 42.000 en 1920 (décembre):

En décembre 1927, on cotait le platine, à Paris, 48.000 francs le kilogramme.

## MÉTAUX SECONDAIRES

### Chrome, Molybdène, Manganèse, Tungstène, Vanadium, Titane.

Ces métaux sont très rarement employés à l'état pur, mais plutôt à l'état d'alliages avec le fer, alliages qui sont obtenus soit au haut fourneau, soit au four électrique, soit par aluminothermie (ferro-vanadium, ferro-titane).

Pour les obtenir à l'état pur, la méthode la plus couramment adoptée est l'aluminothermie; ce procédé consiste à réduire l'oxyde métallique par de l'aluminium en grains; la réaction est amorcée en un point par une cartouche de bioxyde de baryum et d'aluminium.

Le manganèse et le molybdène ont pu être préparés au four électrique.

Le tungstène est obtenu également par réduction de l'oxyde au moyen de l'hydrogène.

Tous ces métaux sont employés pour la fabrication des aciers spéciaux.

**Aciers au chrome.** — Le chrome apporté aux aciers de la dureté et de la fragilité, il favorise l'aptitude à prendre la trempe.

Types industriels :

C = 0,5-0,75,	Cr = 1-2,	dur ;
C = 1,0-1,2,	Cr = 2-2,8,	très dur ;
C = 1,5-1,7,	Cr = 2,75-3,5,	extra dur.

utilisés comme aciers à outil après trempe à 800° et revenu à 200° :

C = 0,9-1,2,	Cr = 1,5-2,	pour roulements à billes ;
C = 2-2,5,	Cr = 3-5,	pour filières de tréfilerie ;
C = 2-3,	Cr = 12-17,	pour outils, matrices, poinçons, calibres, sont très résistants à l'usure ;

C = 0,3,	Cr = 13 ;
C = 0,1,	Cr = 15 ;

Ces deux derniers types sont intéressants par leur inoxydabilité et leur résistance aux températures élevées, ils sont vendus sous le nom d'acier inoxydable, acier stainless.

Le type le plus carburé est utilisé en coutellerie, pour couteaux à fruits parce qu'inattaquable par les jus de fruits : pour appareils, de chirurgie, il est inoxydable jusque vers 900° et conserve bien sa dureté jusqu'à 600°, d'où son emploi pour pièces de pompes, de compteurs, soupapes, ailettes de turbines, ressorts.

Le type le moins carburé est utilisé à la fabrication des emboutis, des ustensiles culinaires.

On utilise ces deux aciers après trempe à l'huile ou à l'air à 950° suivie d'un revenu.

Leur résistance à la corrosion est d'autant plus grande que la teneur en carbone est plus faible, qu'après trempe, le revenu a été moins poussé, que le polissage est plus parfait.

**Aciers au tungstène.** — Le tungstène augmente la résistance de l'acier aux températures élevées : le revenu d'un acier au W en diminue très peu le durcissement obtenu par la trempe.

Types industriels.

C = 0,4-0,5,	W = 0,6,	pour ressorts ;
C = 0,7-1,2,	W = 3-7,	ancien acier Mushet utilisé après trempe à 850° et revenu 200° pour outils destinés à l'usinage de corps très durs ;
C = 0,6-0,7,	W = 5-7,	pour aimants permanents ;
C = 0,6,	W = 15,	soupapes de moteurs à explosion.

On peut remplacer le tungstène par le molybdène dans la proportion de 1 Mo pour 4 W.

On utilise des grains de carbure de tungstène avec ou sans cobalt dont la dureté est sensiblement identique à celle du diamant mais très fragiles ; on les brase sur un acier ordinaire et on les utilise comme outils.

**Acier au manganèse.** — C = 1-1,5, Mn = 12-15, acier austénitique, très difficile à travailler, utilisé surtout à l'état coulé et trempé.

Après trempe à l'eau à 1.000° :

$$R = 95, \quad E = 35, \quad A \ 0/0 = 45 ;$$

très résistant aux chocs et à l'usure ; est employé dans la fabrication des croisements de chemins de fer et tramways, pièces de broyeurs.

**Aciers à coupe rapide.** — Composition :

$$C = 0,2-0,95, \quad Cr = 2-8, \quad W = 7-25, \quad Mo = 0-7, \quad Va = 0-1,0,$$

Composition courante :

$$C = 0,6, \quad W = 18, \quad Cr = 5, \quad Va = 0,2.$$

On ajoute parfois du cobalt jusqu'à 4 0/0 qui permet d'obtenir un bon rendement avec les outils qui en contiennent tout en les trempant à température plus basse que s'ils ne contenaient pas de cobalt.

**Autre acier complexe.**

$$C = 0,5, \quad Cr = 10, \quad W = 1,5 \text{ ou } Mo = 1, \quad Si = 2,5;$$

préconisé par Grard pour soupapes de moteurs d'avions.

Certains alliages de tungstène, chrome, cobalt de composition très variable

$$W = 10, \quad Cr = 20-40, \quad Co = 30,0, \quad C = 1-2;$$

sont utilisés à l'état coulé comme outil pour pièces très dures : étant donné leur prix élevé et leur fragilité, on les brase sur un support en acier ordinaire (stellite).



# LÉGISLATION DU TRAVAIL

Par **G. COURTOT**

Inspecteur du Travail

---

## PREMIÈRE PARTIE. — GÉNÉRALITÉS

---

### CHAPITRE I

#### DES CONVENTIONS RELATIVES AU TRAVAIL

##### Extrait du livre I du Code du Travail

###### A. — DU CONTRAT DE TRAVAIL.

On distingue cinq sortes de contrats: 1° Le contrat d'apprentissage; — 2° Le contrat de louage de services; — 3° le contrat de louage d'ouvrage ou marché d'industrie; — 4° Le marchandage; — 5° *La convention collective de travail.*

###### **Le contrat d'apprentissage.**

*De la nature et de la forme du contrat.* — ART. 1<sup>er</sup>. — Le contrat d'apprentissage est celui par lequel un chef d'établissement industriel ou commercial, un artisan ou un façonnier s'oblige à donner ou à faire donner une formation professionnelle méthodique et complète à une autre personne, qui s'oblige, en retour, à travailler pour lui, le tout à des conditions et pendant un temps convenus.

ART. 2. — Le contrat d'apprentissage doit être constaté par écrit, soit par acte authentique, soit par acte sous seings privés. Il est exempt de tous droits de timbre et d'enregistrement. Les honoraires dus aux officiers publics sont fixés à 2 francs. — Il doit être obligatoirement rédigé dans la quinzaine au plus tard de sa mise à exécution, faute de quoi l'employeur et le représentant de l'apprenti seront passibles de peine de simple police. — Si le contrat d'apprentissage est rédigé par acte sous signatures privées, il le sera en trois originaux: un pour l'employeur, un pour le représentant légal de l'apprenti, le troisième sera adressé en franchise par le maire, auquel il sera obligatoirement remis, au secrétaire du conseil des prud'hommes, à défaut, au greffier de la justice de paix du canton de l'employeur. Ces derniers pourront en délivrer expédition au tarif habituel, sur papier libre. — L'acte sous signature privée acquerra date certaine par les visas que lui donneront les maires et, à défaut, les secrétaires des conseils de prud'hommes, ou

IRIS - ELLIAD - Université Lille 1

les auteurs d'une date fautive seront condamnés à une peine de 16 à 100 francs d'amende. — Mention du contrat d'apprentissage doit être faite par le chef d'établissement à sa date sur le livret individuel de l'apprenti prévu à l'article 80 du livre II du présent code.

ART. 3. — L'acte d'apprentissage est établi en tenant compte des usages et des coutumes de la profession, notamment des règles établies par les chambres de commerce, les chambres de métiers, les comités départementaux de l'enseignement technique et les commissions locales professionnelles et sous le contrôle et la garantie des associations professionnelles en vue de l'apprentissage, partout où elles existeront régulièrement constituées. — Il contient : 1° les nom, prénoms, âge, profession, domicile du maître ; 2° les nom, prénoms, âge, domicile de l'apprenti ; 3° les nom, prénoms, profession et domicile de ses père et mère, de son tuteur ou de la personne autorisée par les parents ou à leur défaut par le juge de paix ; 4° la date et la durée du contrat ; 5° Les conditions de prix, de rémunération de l'apprenti, de nourriture, de logement et toute autre arrêtée entre les parties ; 6° l'indication des cours professionnels que le chef d'établissement s'engage à faire suivre à l'apprenti, soit dans l'enseignement technique et sous les sanctions que cette loi comporte ; 7° l'indemnité à payer en cas de rupture du contrat ou l'indication que cette indemnité sera fixée par le conseil des prud'hommes, à défaut par le juge de paix. — Il doit être signé par le maître et par les représentants de l'apprenti.

*Des conditions du contrat.* — ART. 4. — Nul ne peut recevoir des apprentis mineurs s'il n'est âgé de vingt et un ans au moins.

ART. 5. — Aucun maître, s'il est célibataire ou en état de veuvage ou divorcé, ne peut loger, comme apprenties, des jeunes filles mineures.

ART. 6. — Sont incapables de recevoir des apprentis : Les individus qui ont subi une condamnation pour crime ; — Ceux qui ont été condamnés pour attentat aux mœurs ; — Ceux qui ont été condamnés à plus de trois mois d'emprisonnement pour les délits prévus par les art. 388, 401, 405, 406, 407, 408, 423 du Code pénal.

ART. 7. — L'incapacité résultant de l'article 6 peut être levée par le préfet, sur l'avis du maire, quand le condamné, après l'expiration de sa peine, a résidé pendant trois ans dans la même commune. — A Paris, les incapacités seront levées par le préfet de police.

ART. 7 a. — Lorsque l'instruction professionnelle donnée par un chef d'établissement à ses apprentis sera manifestement insuffisante, comme en cas d'abus graves dont l'apprenti sera victime, le conseil des prud'hommes ou, à son défaut, le juge de paix peut, à la requête du comité départemental de l'enseignement technique, limiter le nombre des apprentis dans l'établissement, ou même suspendre pour un des apprentis le droit pour le chef de cet établissement de former des apprentis.

ART. 7 b. — Lorsque l'apprenti témoignera d'une mauvaise volonté

tenace ou habituelle ou d'une incapacité notoire, le conseil des prud'hommes ou, à défaut, le juge de paix peut résilier le contrat.

*Des devoirs des maîtres et des apprentis.* — ART. 8. — Le maître doit se conduire envers l'apprenti en bon père de famille, surveiller sa conduite et ses mœurs, soit dans la maison, soit au dehors, et avertir ses parents ou leurs représentants des fautes graves qu'il pourrait commettre ou des penchants vicieux qu'il pourrait manifester. — Il doit aussi les prévenir sans retard, en cas de maladie, d'absence ou de tout fait de nature à motiver leur intervention. — Il n'emploiera l'apprenti, sauf conventions contraires, qu'aux travaux et services qui se rattachent à l'exercice de sa profession.

ART. 9. — Si l'apprenti âgé de moins de seize ans ne sait pas lire, écrire et compter, ou s'il n'a pas encore terminé sa première éducation religieuse, le maître est tenu de lui laisser prendre, sur la journée de travail, le temps et la liberté nécessaires pour son instruction. — Néanmoins, ce temps ne peut excéder deux heures par jour.

ART. 10. — Le maître doit enseigner à l'apprenti, progressivement et complètement, l'art, le métier ou la profession spéciale qui fait l'objet du contrat. — Il lui délivrera, à la fin de l'apprentissage, un congé d'acquit, ou certificat constatant l'exécution du contrat.

ART. 11. — L'apprenti doit à son maître fidélité, obéissance et respect; il doit l'aider, par son travail, dans la mesure de son aptitude et de ses forces. — Il est tenu de remplacer, à la fin de l'apprentissage, le temps qu'il n'a pu employer par suite de maladie ou d'absence ayant duré plus de quinze jours.

ART. 11 a. — L'apprenti dont le temps d'apprentissage est terminé passe un examen devant une commission désignée par la commission locale professionnelle ou, à son défaut, par le comité départemental de l'enseignement technique. En cas de succès, un diplôme lui sera délivré.

ART. 12. — Toute personne convaincue d'avoir employé sciemment, en qualité d'apprentis, d'ouvriers ou d'employés, des jeunes gens de moins de dix-huit ans, n'ayant pas rempli les engagements de leur contrat d'apprentissage, ou n'en étant pas régulièrement déliés, sera passible d'une indemnité à prononcer au profit du chef d'établissement ou d'atelier abandonné. — Tout nouveau contrat d'apprentissage conclu sans que les obligations du précédent contrat aient été remplies complètement, ou sans qu'il ait été résolu légalement, est nul de plein droit.

*De la résolution du contrat.* — ART. 13. — Les deux premiers mois de l'apprentissage sont considérés comme un temps d'essai pendant lequel le contrat peut être annulé par la seule volonté de l'une des parties. Dans ce cas, aucune indemnité ne sera allouée à l'une ou l'autre partie, à moins de conventions expresses.

ART. 14. — Le contrat d'apprentissage est résolu de plein droit :



1° Par la mort du maître ou de l'apprenti ; — 2° Si l'apprenti ou le maître est appelé au service militaire ; — 3° Si le maître ou l'apprenti vient à être frappé d'une des condamnations prévues en l'article 6 du présent titre ; — 4° Pour les filles mineures, dans le cas de divorce du maître, de décès de l'épouse du maître, ou de toute autre femme de la famille qui dirigeait la maison à l'époque du contrat.

ART. 15. — Le contrat peut être résolu sur la demande des parties ou de l'une d'elles : 1° Dans le cas où l'une des parties manquera aux stipulations du contrat ; — 2° Pour cause d'infraction grave ou habituelle aux prescriptions du présent titre et des autres lois réglant les conditions du travail des apprentis ; — 3° Dans le cas d'inconduite habituelle de la part de l'apprenti ; — 4° Si le maître transporte sa résidence dans une autre commune que celle qu'il habitait lors de la convention. — Néanmoins la demande en résolution du contrat fondée sur ce motif n'est recevable que pendant trois mois à compter du jour où le maître aura changé de résidence ; — 5° Si le maître ou l'apprenti encourait une condamnation emportant un emprisonnement de plus d'un mois ; — 6° Dans le cas où l'apprenti viendrait à contracter mariage.

ART. 16. — Si le temps convenu pour la durée de l'apprentissage dépasse le maximum de la durée consacrée par les usages locaux, ce temps peut être réduit ou le contrat résolu.

*De la compétence.* — ART. 17. — Les réclamations qui pourraient être dirigées contre les tiers en vertu de l'article 12 du présent titre seront portées devant le conseil des prud'hommes ou devant le juge de paix du lieu de leur domicile.

ART. 18. — Dans les divers cas de résolution prévus au chapitre IV, les indemnités ou les restitutions qui pourraient être dues à l'une ou à l'autre des parties seront, à défaut de stipulations expresses, réglées par le conseil des prud'hommes ou par le juge de paix dans les cantons qui ne ressortissent point à la juridiction d'un conseil de prud'hommes.

ART. 19. — Si le père, la mère ou le représentant d'un mineur entendent l'employer comme apprenti, ils seront obligatoirement tenus d'en faire la déclaration au secrétariat du conseil des prud'hommes ou, à défaut, au greffe de la justice de paix de leur résidence. Cette déclaration sera assimilée dans tous ses effets à un contrat écrit d'apprentissage.

#### **Le contrat de louage de services.**

§ 1. *Règles générales.* — ART. 20. — On ne peut engager ses services qu'à temps ou pour une entreprise déterminée.

Les règles relatives au contrat de louage de services sont contenues dans le livre I du Code du travail (articles 21 à 24 inclus) et peuvent être résumées comme suit

L'engagement d'un ouvrier ne doit pas dépasser un an.

Lorsque le contrat est fait sans détermination de durée, il peut toujours cesser par la volonté d'une des parties contractantes.

Celui qui a engagé ses services peut, à l'expiration du contrat, exiger de l'employeur un certificat de travail.

§ 2. *Règles particulières aux réservistes et aux territoriaux appelés à faire une période d'instruction militaire.* — ART. 25. — En matière de louage de services, si un patron, un employé ou un ouvrier est appelé sous les drapeaux comme réserviste ou territorial pour une période obligatoire d'instruction militaire, le contrat de travail ne peut être rompu à cause de ce fait.

ART. 26. — Alors même que, pour une cause légitime, le contrat serait dénoncé par l'une des parties, la durée de la période militaire est exclue des délais impartis par l'usage pour la validité de la dénonciation, sauf toutefois dans le cas où le contrat de louage a pour objet une entreprise temporaire prenant fin pendant la période d'instruction militaire.

ART. 27. — En cas de violation des articles précédents par l'une des parties, la partie lésée a droit à des dommages-intérêts qui seront arbitrés par le juge conformément aux indications de l'article 23 du présent livre.

ART. 28. — Toute stipulation contraire aux dispositions qui précèdent est nulle de plein droit.

§ 3. *Règles particulières aux femmes en couches.* — ART. 29. — La suspension du travail par la femme, pendant huit semaines consécutives, dans la période qui précède et suit l'accouchement, ne peut être une cause de rupture par l'employeur du contrat de louage de services et ce, à peine de dommages-intérêts au profit de la femme. Celle-ci devra avertir l'employeur du motif de son absence. Toute convention contraire est nulle de plein droit. — L'assistance judiciaire sera de droit pour la femme devant la juridiction du premier degré.

ART. 29 a (ajouté Loi 17 juin 1913). — Les femmes en état de grossesse apparente pourront quitter le travail sans délai-congé et sans avoir de ce fait à payer une indemnité de rupture.

*Règlements d'ateliers.* — Les clauses particulières du contrat de travail sont le plus souvent insérées dans les Règlements d'ateliers. Les prescriptions de ces règlements ne lient les ouvriers que si ceux-ci en ont eu, dès leur entrée à l'atelier, ample et suffisante connaissance, qu'elles sont observées et qu'ils les ont constamment sous les yeux pendant le travail. — Les règlements d'ateliers ont une force obligatoire, même établis par le patron seul lorsqu'il est évident que l'ouvrier y a donné un consentement tacite. — Pour être valables, les clauses insérées ne doivent pas être contraires aux lois. Seraient nulles de plein droit et sans effet les clauses qui prescriraient une retenue sur les salaires pour le paiement de la prime assurance-

accidents ou qui imposeraient une durée de travail supérieure au maximum légal.

*Délai-Congé.* — Quand il s'agit de contrat de travail fait sans détermination de durée, l'usage s'est établi entre patrons et ouvriers de se prévenir mutuellement un certain temps à l'avance de leur intention de rompre le contrat qui les lie. Le temps qui s'écoule entre la dénonciation du contrat et la cessation effective de travail prend le nom de délai-congé. — C'est l'usage qui fixe la durée du délai-congé ainsi que le montant de l'indemnité à payer par la partie qui n'observe pas le délai-congé. — Pendant la période d'essai, le patron et l'ouvrier peuvent mutuellement se séparer sans observer le délai-congé. — Pour les ouvriers travaillant à l'heure ou à la journée, le Conseil des Prud'hommes de la Seine impose au patron un délai de préavis d'une heure. — Pour les ouvriers travaillant à la semaine ou à la quinzaine, les délais de préavis sont de huit ou de quinze jours. — Quant aux employés subalternes, certaines décisions disent que le délai de congé est seulement de quinze jours, d'autres d'un mois. — S'il s'agit d'employés supérieurs, aucune précision ne peut être apportée. — Pour les employés intéressés, le délai de préavis est le même que pour de simples employés. — Les parties sont libres de fixer par un règlement d'atelier ou par une convention la durée du délai-congé. Elles peuvent même convenir qu'aucun délai ne sera observé.

#### **Le contrat de louage d'ouvrage ou marché.**

Dans ce contrat, l'ouvrier loue son travail pour un ouvrage déterminé à faire moyennant un prix convenu. C'est le travail à la pièce ou à la tâche. Il est soumis aux règles contenues dans les articles 1787 et suivants du Code civil. Le louage d'ouvrage prend fin : 1° par l'achèvement de l'ouvrage ; — 2° par la volonté du patron ; — 3° par la mort de l'ouvrier, de l'architecte ou de l'entrepreneur.

#### **Le marchandage.**

Le marchandage est le contrat par lequel des entrepreneurs et des tâcherons qui se sont rendus adjudicataires d'un travail, traitent en seconde, troisième ou quatrième main et à forfait avec des ouvriers pour la confection de telle ou telle partie de l'ouvrage. L'exploitation des ouvriers par des sous-entrepreneurs ou marchandage est interdite (art. 32 du livre I du Code du travail). Les associations d'ouvriers qui n'ont point pour objet l'exploitation des ouvriers les uns par les autres ne sont point considérées comme marchandage.

#### **La convention collective de travail.**

Les dispositions relatives à la convention collective du travail sont contenues dans le livre I du Code du travail (articles 31 à 32) et peuvent être résumées comme suit :

Après avoir défini la convention collective, le législateur détermine les conditions auxquelles doivent satisfaire les contrats de travail individuels ou collectifs :



- 1° La convention doit être écrite et n'est applicable qu'à partir du jour qui suit son dépôt ;
- 2° Elle fixe la région où elle sera appliquée ;
- 3° Elle indique la durée pour laquelle elle est constituée ;
- 4° Elle indique ensuite les effets et les sanctions qui résultent de sa non-exécution.

## B. — DU SALAIRE

### **Paiement des salaires** (*art. 43, 44, 45 du livre I du Code du travail*).

Les salaires des ouvriers et employés doivent être payés en monnaie métallique ou fiduciaire ayant cours légal nonobstant toute stipulation contraire à peine de nullité. Les salaires des ouvriers du commerce et de l'industrie doivent être payés au moins deux fois par mois, à seize jours au plus d'intervalle ; ceux des employés doivent être payés au moins une fois par mois.

Pour tout travail aux pièces dont l'exécution doit durer plus d'une quinzaine, les dates de paiement peuvent être fixées de gré à gré, mais l'ouvrier doit recevoir des acomptes chaque quinzaine et être intégralement payé dans la quinzaine qui suit la livraison de l'ouvrage. Le paiement ne peut être effectué un jour où l'ouvrier ou l'employé a droit au repos, soit en vertu de la loi, soit en vertu de la convention. Il ne peut avoir lieu dans les débits de boissons ou magasins de vente, sauf pour les personnes qui y sont occupées.

### **Des économats.**

ART. 75. — Il est interdit à tout employeur : 1° d'annexer à son établissement un économat où il vende, directement ou indirectement, à ses ouvriers et employés ou à leurs familles, des denrées et marchandises de quelque nature que ce soit ; 2° d'imposer à ses ouvriers et employés l'obligation de dépenser leur salaire, en totalité ou en partie, dans des magasins indiqués par lui. — Cette interdiction ne s'étend pas au contrat de travail, si ce contrat stipule que l'ouvrier sera logé et nourri et recevra, en outre, un salaire déterminé en argent ou si, pour l'exécution de ce contrat, l'employeur cède à l'ouvrier des fournitures à prix coûtant.

ART. 76. — Tout économat doit être supprimé dans un délai de deux ans à dater du 25 mars 1910.

ART. 77. — Les économats des réseaux de chemins de fer, qui sont placés sous le contrôle de l'État, ne sont pas régis par les dispositions des art. 75 et 76, sous la triple réserve : 1° que le personnel ne soit pas obligé de se fournir à l'économat ; 2° que la vente des denrées et marchandises ne rapporte à l'employeur aucun bénéfice ; 3° que l'économat soit géré

un tiers au moins, de délégués élus par les ouvriers et employés du réseau.

Toutefois, le ministre des Travaux publics fera, cinq ans après le 25 mars 1910, procéder, dans les formes fixées par arrêté ministériel, à une consultation du personnel sur la suppression ou le maintien de l'économat de chaque réseau. Ce referendum sera renouvelé à l'expiration de chaque période de cinq ans.

Les mêmes règles s'appliqueront aux économats annexés aux établissements industriels dépendant de sociétés dans lesquelles le capital appartient, en majorité, aux ouvriers et employés, retraités ou non, de l'entreprise et dont les assemblées générales seront statutairement composées, en majorité, des mêmes éléments.

#### **Du salaire de la femme mariée.**

ART. 78. — Les droits de la femme mariée sur les produits de son travail personnel et les économies en provenant sont déterminés par la loi du 13 juillet 1907 relative au libre salaire de la femme mariée et à la contribution des époux aux charges du mariage.

### **C. — DU PLACEMENT DES TRAVAILLEURS.**

#### **Extraits du livre I du Code du travail.**

ART. 79. — L'autorité municipale surveille les bureaux de placement pour y assurer le maintien de l'ordre, les prescriptions de l'hygiène, et en ce qui concerne les bureaux autorisés, elle surveille en outre l'observation des prescriptions auxquelles ils sont tenus de se conformer. Elle prend les arrêtés nécessaires à cet effet.

ART. 81. — Aucun bureau de placement, payant ou gratuit, ne peut être géré ou exploité, directement ou indirectement, par une personne exerçant l'un des commerces ci-après : hôtelier, logeur, restaurateur, débitant de boissons, négociant ou courtier, ou représentant en denrées alimentaires, ou en articles d'habillement, ou objets d'usage personnel, commerce d'achat et de vente de reconnaissances de mont-de-piété. — Il est interdit d'établir le siège d'un bureau de placement dans les locaux ou dans les dépendances des locaux occupés par les exploitations visées au paragraphe précédent. — Il est interdit à tout tenancier, gérant, préposé d'un bureau de placement de subordonner le placement à l'obligation de se fournir dans des magasins indiqués par lui.

ART. 83. — Les bureaux de placement gratuit créés par les municipalités, par les syndicats professionnels ouvriers, patronaux ou mixtes, les bourses du travail, les compagnonnages, les sociétés de secours mutuels et toutes autres associations légalement constituées ne sont soumis à aucun

ART. 84. — Les bureaux de placement énumérés à l'article 83, sauf ceux qui sont créés par les municipalités, sont astreints au dépôt d'une déclaration préalable effectuée à la mairie de la commune où ils sont établis. La déclaration devra être renouvelée à tout changement de local du bureau.

ART. 85. — Dans chaque commune, un registre constatant les offres et demandes de travail et d'emplois devra être ouvert à la mairie et mis gratuitement à la disposition du public. A ce registre sera joint un répertoire où seront classées les notices individuelles que les demandeurs de travail pourront librement joindre à leur demandé. Les communes comptant plus de 10.000 habitants seront tenues de créer un bureau municipal. — Si la création du bureau municipal de placement prescrite par le paragraphe précédent n'a pas été réalisée, il y sera procédé d'office par le Préfet, après mise en demeure restée sans résultat adressée au Conseil municipal. — Ces dépenses nécessitées par l'installation et le fonctionnement du bureau de placement créé en exécution des dispositions qui précèdent sont obligatoires pour les villes déterminées au paragraphe 2 du présent article.

ART. 85 a. — Dans chaque département l'institution d'un office départemental de placement est comprise dans les dépenses obligatoires inscrites au budget départemental. — Les offices départementaux ont pour objet d'organiser et d'assurer, dans toutes les communes de leur circonscription, le recrutement et le placement gratuits des travailleurs de l'agriculture, de l'industrie, du commerce, des professions libérales, ainsi que des domestiques et des apprentis. Il peut être créé facultativement plusieurs offices dans le même département, si le conseil général le décide. — Des arrêtés préfectoraux déterminent, conformément aux délibérations du conseil général, le siège et la circonscription de chaque office départemental, son budget, son organisation, son fonctionnement et le mode de nomination de son personnel. — Les conseils généraux peuvent, en outre, s'associer pour la création et le fonctionnement d'offices interdépartementaux de placement.

ART. 85 b. — Dans chaque circonscription d'office départemental, un bureau municipal de placement, s'il en existe, peut être chargé, par arrêté préfectoral et après accord avec la municipalité intéressée, de former l'office départemental. — Les bureaux municipaux de placement — ou, s'il a été fait application du paragraphe précédent, les bureaux de la circonscription autres que celui qui joue le rôle d'office départemental — ainsi que les services municipaux d'inscription des offres et demandes d'emplois, doivent être en relations, quant à leur fonctionnement technique, avec l'office départemental de leur circonscription. — Chaque office départemental, de son côté, doit se tenir en rapports réguliers, notamment par l'échange de renseignements sur les excès d'offres et de demandes de main-d'œuvre, avec



les autres offices du département, ceux des autres départements, les offices interdépartementaux et avec l'office central institué auprès du ministère du Travail. — La correspondance postale échangée pour les besoins du service entre tous ces bureaux et offices de placement est admise à circuler en franchise sous pli fermé.

ART. 85 c. — Chaque bureau municipal ou office départemental peut, pour certaines professions, instituer des sections professionnelles. L'institution d'une section agricole est obligatoire dans chaque office départemental. — Il est adjoint à chaque bureau municipal et office départemental et, s'il y a lieu, par arrêté spécial, à chaque section professionnelle, une commission administrative chargée de contrôler les opérations de placement et de donner son avis pour toutes les questions intéressant le développement de ces institutions. — Ces commissions doivent comprendre un nombre égal d'ouvriers ou employés et de patrons appartenant, autant que possible, aux professions qui font le plus souvent appel au placement.

ART. 86. — Sont exemptées du droit de timbre les affiches imprimées ou non, concernant exclusivement les offres et demandes de travail et d'emplois et apposées par les bureaux de placement gratuits énumérés à l'article 83.

ART. 87. — Il est interdit à tout gérant ou employé de bureau de placement gratuit de percevoir une rétribution quelconque à l'occasion du placement d'un ouvrier ou employé.

ART. 88. — Nul ne peut tenir un bureau de placement, sous quelque titre, pour quelques professions, places ou emplois que ce soit, sans une permission spéciale qui ne peut être accordée qu'à des personnes de moralité reconnue. Cette permission est accordée, après avis de l'Office départemental de placement, par le maire, lorsque le bureau doit exercer son activité principale dans la commune où il est établi ; par le préfet, lorsque cette activité doit s'exercer principalement en dehors de la commune et dans la limite du département. Elle est accordée par le ministre du Travail, après consultation, si les bureaux effectuent des placements dans l'agriculture, du ministre de l'Agriculture, lorsque cette activité doit s'étendre sur plusieurs départements.

ART. 88 a. — Il est interdit aux gérants ou préposés de bureaux de placement : 1° de percevoir ou d'accepter, à l'occasion des opérations faites par eux, des dépôts ou cautionnements de quelque nature que ce soit ; 2° d'annoncer, de quelque façon que ce soit, les emplois qu'ils n'auraient pas mission d'offrir.

ART. 88 b. — Il est interdit de vendre, soit à l'abonnement, soit au numéro, des feuilles d'offres ou de demandes d'emplois. — Ne sont pas considérés comme feuilles d'offres ou de demandes d'emplois, les journaux ou périodiques qui, n'ayant manifestement pas pour objet des opérations de placement par voie d'annonces, insèrent des offres

ou des demandes d'emplois, à condition qu'il ne soit pas consacré à ces offres ou demandes plus de la moitié de la superficie du journal ou du périodique.

ART. 90. — L'autorité municipale règle le tarif des droits qui peuvent être perçus par le gérant.

ART. 91. — Les frais de placement touchés dans les bureaux maintenus à titre payant sont entièrement supportés par les employeurs sans qu'aucune rétribution puisse être reçue des employés. — Les articles suivants indiquent les motifs de la suppression des bureaux et les pénalités auxquelles sont assujettis ceux qui ne se soumettraient pas à ces prescriptions.

**Fonctionnement du placement (Décret du 9 mars 1926).**

ART. 1<sup>er</sup>. — Chaque office départemental ou bureau municipal de placement doit être installé dans un local spécialement y affecté, pourvu du téléphone, d'accès facile au public, et dont l'emplacement est indiqué par des affiches et enseignes très apparentes. — Dans chaque office départemental et dans chaque bureau municipal, les employés doivent être en nombre suffisant pour assurer, pendant les heures d'ouverture de l'office ou des bureaux, le fonctionnement normal du service.

ART. 2. — La commission administrative de contrôle prévue au paragraphe 2 de l'article 85 et du livre I<sup>er</sup> du Code du travail doit être constituée comme suit. — Pour un office départemental ou pour un bureau municipal chargé de former l'office départemental, la commission administrative comprend : Un représentant au moins du conseil général et, le cas échéant, des conseils municipaux participant aux dépenses de l'office, désignés par ces assemblées. — Un nombre égal de patrons et d'ouvriers ou employés ou d'anciens patrons, ouvriers ou employés dont le total ne peut être inférieur à 10. — Un représentant du comité départemental des mutilés. — Le chef de l'office régional de la main-d'œuvre dans la circonscription duquel se trouve l'office ou son délégué quand il n'est pas lui-même directeur de l'office ou chef du bureau municipal. — Le directeur des services agricoles ou son délégué, l'inspecteur départemental du travail, et le directeur de l'office départemental ou le chef du bureau municipal, avec voix consultative seulement. — Pour un bureau municipal qui n'est pas chargé de former l'office départemental, la commission administrative comprend : Un conseiller municipal désigné par le conseil municipal. — Un nombre égal de patrons et d'ouvriers ou employés ou d'anciens patrons, ouvriers ou employés dont le nombre total ne peut être inférieur à 8. — Le chef de l'office régional de la main-d'œuvre dans la circonscription duquel se trouve le bureau ou son délégué et le directeur de l'office départemental ou de la section de l'office départemental dans la circonscription duquel se trouve le bureau. — Le chef du bureau municipal avec voix con-

sultative seulement. — Dans toute commission administrative, le nombre des membres autres que les patrons, ouvriers ou employés ayant voix délibérative ne peut excéder le tiers.

ART. 3. — Les membres de la commission de l'office départemental sont nommés par le préfet, les membres de la commission administrative du bureau municipal par le maire. — Les membres patrons, ouvriers ou employés sont choisis parmi les personnes exerçant depuis trois ans au moins l'une des professions appelées à avoir le plus souvent recours aux services de placement public et, autant que possible, sur la proposition des syndicats de patrons, d'ouvriers ou d'employés appartenant à ces professions et en ce qui concerne les représentants de l'agriculture sur la proposition des associations agricoles.

ART. 4. — La commission administrative de l'office départemental ou du bureau municipal de placement présente au préfet ou au maire toutes propositions qu'elle juge utiles relativement à l'organisation et au développement de l'office départemental ou du bureau municipal et, le cas échéant, des sections paritaires professionnelles. — Elle fixe le règlement de ces services sous réserve de l'approbation du préfet ou du maire. Elle présente, au cours du premier trimestre de chaque année, au préfet ou au maire, un projet de budget des services et soumet à la session budgétaire du conseil général ou du conseil municipal un rapport sur leur fonctionnement.

ART. 6. — La commission administrative peut déléguer tout ou partie de ses attributions de contrôle, pendant l'intervalle de ses sessions, à une délégation composée par moitié de patrons et d'ouvriers.

ART. 7. — La section agricole instituée obligatoirement dans chaque office départemental et les autres sections professionnelles instituées, le cas échéant, au sein des offices départementaux ou des bureaux municipaux, sont placées sous l'autorité du directeur de l'office départemental ou du chef du bureau municipal. — Les commissions adjointes, s'il y a lieu, aux sections professionnelles sont composées d'au moins quatre patrons et ouvriers ou anciens patrons et ouvriers de la profession, désignés par le préfet ou le maire dans les mêmes conditions que les membres patrons et ouvriers de la commission administrative. — Le directeur des services agricoles du département, ou son délégué, a le droit d'assister avec voix consultative aux séances de la commission de la section agricole. Il y est toujours convoqué. — La commission adjointe à une section professionnelle émet son avis sur toutes les questions concernant le placement dans la profession. Ses délibérations et avis sont communiqués à la commission administrative de l'office ou du bureau municipal qui arrête définitivement les propositions à formuler. — Chaque commission de section professionnelle délègue un patron et un ou-



vrier avec voix délibérative aux séances de la commission administrative de l'office départemental ou du bureau municipal.

ART. 8. — Pour chaque office départemental, l'arrêté préfectoral, prévu par l'article 85 a, § 4 du livre I<sup>er</sup> du Code du travail, et, pour chaque bureau municipal, un arrêté du maire détermineront le mode de désignation du président de la commission administrative et des commissions paritaires, la durée du mandat des membres de la commission administrative et des commissions paritaires, qui ne peut excéder trois ans, la périodicité des séances, à raison d'une au moins par trimestre, la procédure du contrôle de la gestion du bureau et, s'il y a lieu, les indemnités à allouer aux membres à titre de jetons de présence. — Dans toute délibération, les patrons et ouvriers ou employés ne doivent prendre part au vote qu'en nombre égal. — Dans le cas où les patrons et ouvriers ou employés ne sont pas présents en nombre égal, un tirage au sort détermine le ou les membres qui ne prennent pas part au vote. — Les décisions sont prises à la majorité des membres présents. Au sein de la commission administrative, cette majorité doit, dans les questions d'ordre professionnel, comprendre la majorité des membres patrons, ouvriers et employés. Le président de la commission administrative ou d'une commission paritaire ne doit être ni un des membres employeurs ou employés, ni l'agent ayant la direction de l'office départemental ou du bureau municipal, ni le préposé d'une section professionnelle. Il ne vote pas. — Le règlement intérieur détermine, en outre, le mode de nomination et les fonctions du ou des agents préposés au placement et les conditions générales du fonctionnement des bureaux et, notamment, leurs heures d'ouverture.

ART. 10. — Dans les salles où le public a accès, est apposée une affiche rappelant que le placement est rigoureusement gratuit, et que, l'article 87 du livre I<sup>er</sup> du Code du travail interdisant à tout gérant ou employé du service de percevoir une rétribution ou récompense quelconque à l'occasion du placement d'un ouvrier ou employé, il est formellement défendu aux employeurs et aux ouvriers ou employés d'offrir une rétribution quelconque au personnel des bureaux. — Sont également affichés ou tenus à la disposition des intéressés, les conventions collectives de travail et les bordereaux de salaire, qui auront été portés à la connaissance des services par les organisations intéressées.

ART. 12. — En cas de conflit collectif ayant entraîné une cessation du travail, le service de placement continue de fonctionner. Mais si ce conflit est de notoriété publique ou a été porté à la connaissance du service, celui-ci est tenu d'en avertir tout demandeur auquel est offert un emploi dans une entreprise atteinte, directement ou indirectement, par le conflit ou tout employeur de la profession intéressée demandant du personnel. — La liste desdites entreprises est,

en outre, affichée dans la salle réservée aux demandeurs et aux offreurs.

#### **Offices départementaux de placement des travailleurs.**

La guerre a troublé profondément le marché du travail.

Au chômage absolu du fait de la guerre a succédé une reprise progressive du travail, mais très variable suivant les régions. Alors que, dans telle région, il y avait pénurie de main-d'œuvre, dans la région voisine, le nombre des chômeurs était très élevé.

Cet état de choses fit ressortir les lacunes d'une organisation de placement pratiquée en dehors des bureaux de placement privés, par quelques syndicats professionnels. De plus, très peu de villes de plus de 10.000 habitants avaient ouvert des bureaux de placement.

Le ministre du Travail a alors invité les préfets à créer, dans chaque département, un office départemental de placement.

Pour assurer la liaison entre les offices départementaux de placement, il a été institué au ministère du Travail un office central de placement. Les offices départementaux de placement bénéficient des subventions de l'État s'ils répondent aux conditions imposées par le décret du 12 mars 1916.

#### **Office National des mutilés et réformés de guerre (Loi du 2 janvier 1918).**

Au placement on peut rattacher la question de la rééducation professionnelle et de l'Office national des mutilés et réformés de guerre.

L'Office national des mutilés et réformés de guerre est un agent de liaison entre les œuvres privées ayant pour objet la protection des intérêts généraux des mutilés et invalides de la guerre, leur rééducation professionnelle et leur placement. Il leur assure aussi le patronage et l'appui permanents qui sont dus par la reconnaissance de la nation.

Dans chaque département, il est institué des comités locaux de mutilés et réformés de guerre ayant des attributions semblables à celles de l'office.

Aux termes de l'article 1<sup>er</sup> de la loi du 2 janvier 1918, tout militaire ou ancien militaire des armées de terre et de mer atteint d'infirmités résultant de blessures reçues ou de maladies contractées ou aggravées pendant la guerre de 1914-1918 peut demander son inscription à une école de rééducation professionnelle.

### **D. — TAXE D'APPRENTISSAGE**

L'article 25 de la loi de finances du 13 juillet 1925, qui crée une taxe d'apprentissage, prévoit qu'un règlement d'administration publique devra intervenir pour fixer les modalités d'application de cette nouvelle contribution.

Le législateur a spécifié que cette taxe ne serait pas établie dans les conditions ordinaires de la réglementation fiscale. Si le service

de recouvrement de la taxe doit demeurer le même qu'en matière de contributions directes et taxes assimilées, une innovation profonde est apportée dans le service de l'assiette. C'est, en effet, au comité départemental de l'enseignement technique, institué par la loi du 25 juillet 1919, qu'est dévolu le soin d'établir les états matriciels de la taxe dont il s'agit et de fixer annuellement, pour chacun des assujettis, le montant de son imposition.

En faisant intervenir ainsi le comité départemental de l'enseignement technique dans l'application de la taxe d'apprentissage, le législateur a tenu à montrer le caractère spécial de cette contribution, dont le produit doit servir exclusivement à des dépenses en faveur de l'enseignement technique et de l'apprentissage, ainsi qu'au développement des laboratoires scientifiques.

Le souci d'exonérer les assujettis qui auraient déjà consenti à assumer les charges d'œuvres d'enseignement technique et d'apprentissage devait entraîner une procédure complexe dans l'application de la taxe. Pour chaque cas particulier, le calcul de l'imposition allait se faire à l'aide d'un élément certain, formé par les déclarations des chefs d'entreprises, du montant des salaires, traitements et rétributions quelconques, payés au cours de l'année précédente, et aussi, en tenant compte d'un élément à caractère contingent, constitué par les demandes d'exonérations qui pourraient se produire dans un certain nombre de cas limitativement énumérés par la loi.

Le premier élément est destiné à faire ressortir la taxe brute ; aucune difficulté n'apparaît pour arriver à révéler cet élément ; les assujettis seront astreints à faire une déclaration des salaires, traitements et rétributions quelconques, analogue à celle prévue par l'article 26 de la loi du 31 juillet 1917, complété par l'article 6 de la loi de finances de 1925. Cette déclaration sera l'élément de base des états matriciels.

Le deuxième élément n'interviendra que si l'assujetti a déjà effectué des dépenses pour l'enseignement technique et l'apprentissage, et qu'il entend s'en prévaloir ; ces dépenses viendraient en déduction de la taxe d'apprentissage, permettant de chiffrer la véritable imposition du contribuable, c'est-à-dire la taxe nette.

Le législateur ne pouvait se contenter de l'affirmation des assujettis, qui demandaient décharge de la taxe. Si l'on ne voulait organiser « l'évasion » de la taxe d'apprentissage, il convenait d'instituer un contrôle sévère des faits allégués à l'appui des demandes d'exonération.

Un seul organisme était apte à exercer ce contrôle, c'était le comité départemental de l'enseignement technique, assemblée qui, en conformité de la loi du 25 juillet 1919, centralise toutes les questions relatives aux écoles et aux cours professionnels du département, qui s'occupe du développement de l'enseignement technique et possède



l'expérience des choses de cet enseignement, puisque l'administration ne traite aucune affaire sans que le comité n'ait été invité à formuler son avis.

Si le comité départemental apparaissait compétent pour être le juge des exonérations et établir la taxe nette pour chaque contribuable, il se trouvait démuné de tous moyens de réunir les éléments d'appréciation nécessaires. Cette assemblée a été, en effet, jusqu'alors une assemblée purement consultative, n'ayant pas de budget, ne disposant d'aucun service. Pour que le comité pût jouer son rôle, il importait donc de désigner les autorités administratives qui allaient être chargées de réunir les éléments d'information, de procéder à l'instruction des demandes d'exonération. C'est dans ce but que le projet a prévu l'intervention de l'inspection de l'enseignement technique, de l'inspection du travail, pour l'application de la taxe d'apprentissage.

Les autres dispositions du projet sont inspirées, d'une part, par la nécessité de procurer aux agents chargés de l'instruction des demandes, des moyens d'information qui les mettent à même de se rendre compte de la matérialité des faits déclarés; d'autre part, par le désir d'accorder toutes facilités aux contribuables pour effectuer le dépôt de leurs déclarations; pour les guider, le cas échéant, dans l'énumération des charges relatives à l'enseignement technique et à l'apprentissage, qu'ils supportent et qui sont susceptibles d'ouvrir un droit à l'exonération. Enfin le projet s'est efforcé de donner aux assujettis toute latitude dans le choix des moyens pour faire la preuve devant le comité départemental de l'enseignement technique comme devant la commission permanente du conseil supérieur jugeant en appel des faits qu'ils invoquent.

Tels sont les principes qui ont présidé à l'élaboration du projet de règlement que nous avons l'honneur, après avoir recueilli l'avis du Conseil d'Etat, de soumettre à votre haute sanction.

## CHAPITRE PREMIER

### Des déclarations et des demandes d'exonération.

ART. 1<sup>er</sup>. — Avant le 1<sup>er</sup> mars de chaque année, le chef d'entreprise assujéti à la taxe adresse au préfet du département où est situé le siège social de son entreprise une déclaration globale, établie en double exemplaire et contenant les indications suivantes: — 1<sup>o</sup> Ses nom, prénoms et, le cas échéant, la raison sociale de l'entreprise, la nature de l'entreprise, le siège social, le lieu où est situé l'établissement et, s'il y a lieu, celui de chacun des établissements exploités par l'entreprise; — 2<sup>o</sup> Le montant total des appointements,

salaires, rétributions quelconques, payés l'année précédente. — Lorsque l'entreprise comprend des établissements situés dans des départements autres que celui du siège social, il est annexé à la déclaration un état dressé pour chacun des départements où sont situés ces établissements et contenant pour chacun de ces derniers les indications prévues au précédent paragraphe.

ART. 2. — S'il y a lieu, l'assujetti joint à sa déclaration une demande d'exonération partielle ou totale de la taxe, en raison des dépenses qu'il a effectuées, au cours de l'année précédente, en vue de favoriser l'enseignement technique et l'apprentissage.

Il indique dans cette demande : — 1° Le nombre des ouvriers et employés âgés de plus de 18 ans ; — 2° Le nombre des ouvriers et employés âgés de moins de 18 ans ; — 3° Le nombre des apprentis. Sont considérés comme apprentis pour l'application de la loi du 13 juillet 1925, les jeunes gens, jeunes femmes et filles, sans distinction de nationalité, âgés de moins de 18 ans, munis d'un contrat d'apprentissage et, à défaut, occupés dans le commerce ou l'industrie en vue d'une formation professionnelle méthodique et complète ; — 4° S'il y a lieu, les conditions dans lesquelles l'assujetti assure l'apprentissage de son personnel et organise, pour lui, l'enseignement technique avec l'énumération des charges qu'il supporte du fait de l'apprentissage et de l'enseignement technique et qui rentrent dans une des catégories suivantes : — *a.* Les frais de premier établissement et de fonctionnement des cours professionnels et techniques de degrés divers, lorsque ces cours sont reconnus suffisants, après avis de la commission locale professionnelle dans les conditions prévues par la loi du 25 juillet 1919 ou après avis de l'inspection de l'enseignement technique. — Les frais de premier établissement ne comprennent que ceux qui ont été assumés depuis la promulgation de la loi de finances du 13 juillet 1925 ; — *b.* Les salaires des techniciens qui sont chargés, à l'exclusion de tout autre travail, de la formation et de la direction des apprentis isolés ou en groupe, dans la limite maximum d'un technicien pour dix apprentis ; — *c.* Les salaires payés aux apprentis pendant les dix premiers mois de l'apprentissage, lorsqu'ils sont soumis à un programme d'apprentissage méthodique complet pendant toute la durée de l'apprentissage, ainsi que les salaires payés pour les heures de présence aux cours professionnels, contrôlés par l'usage du livret prévu à l'article 45 de la loi du 25 juillet 1919 ; — *d.* Les subventions en espèces ou en nature aux écoles techniques publiques ou reconnues par l'Etat, ou aux écoles dont l'enseignement aura été reconnu suffisant par l'inspection générale de l'enseignement technique après consultation, s'il y a lieu, de l'administration publique plus spécialement intéressée ; les bourses et allocations d'études dans lesdites écoles, avec le nom et l'adresse des bénéficiaires, ainsi que toutes indications sur

l'utilisation de ces sommes ; — e. La participation aux frais des œuvres complémentaires de l'enseignement technique et de l'apprentissage, la nature desdites œuvres et toutes indications utiles s'y rapportant ; — f. Les subventions pour le développement et le fonctionnement des laboratoires de sciences pures et appliquées ; — 5° S'il y a lieu, le montant des subventions, allocations, cotisations, centimes additionnels à l'imposition des patentes, ou autres contributions spéciales versées à des groupements professionnels ou bien à des chambres de commerce, ainsi qu'à toute personne morale publique ou privée, à titre de participation dans les dépenses relatives à l'apprentissage ou à l'enseignement technique, comprises dans l'énumération qui figure aux paragraphes précédents.

ART. 3. — Les déclarations et les demandes d'exonération sont signées, soit par l'assujetti lui-même, soit par un mandataire, en vertu d'une procuration, soit, s'il s'agit d'une société, par ses représentants légaux ou leur mandataire.

ART. 4. — Le préfet délivre récépissé de la déclaration et de la demande d'exonération.

ART. 5. — Tout assujetti qui cesse d'être soumis à la taxe comme se trouvant dans un des cas d'exception prévus par le paragraphe 5 de l'article 25 de la loi, doit en faire la déclaration au préfet avant le 1<sup>er</sup> mars de chaque année.

## CHAPITRE II

### Contrôle des déclarations et examen des demandes d'exonération.

ART. 6. — Le préfet, président du comité départemental, fait procéder au contrôle des déclarations qui lui sont parvenues avant l'expiration du délai fixé par l'article 1<sup>er</sup> du présent décret. — Il transmet aux préfets des départements intéressés les déclarations qui concernent des établissements situés dans d'autres départements. Ces déclarations sont retournées avant le 20 mai avec les propositions du préfet qui a procédé au contrôle.

ART. 7. — Lorsque l'instruction fait ressortir que la déclaration comporte des rectifications, le préfet en avise l'assujetti et lui impartit un délai de dix jours pour présenter, avec toutes justifications utiles, des observations écrites ou orales.

ART. 8. — Le préfet fait rechercher, en vue de la taxation d'office, les entreprises assujetties à la taxe, pour lesquelles il n'a pas été souscrit de déclaration.

ART. 9. — Le préfet soumet les demandes d'exonération qui lui sont parvenues dans le délai fixé à l'article 1<sup>er</sup> du présent décret au



comité départemental de l'enseignement technique. — Celui-ci examine le bien-fondé de la demande, tant au point de vue de la réalité de la dépense qu'à celui de l'utilisation qui lui a été donnée et il fixe le montant de l'exonération.

ART. 10. — Les assujettis devront, lorsque la demande leur en sera faite par le comité départemental, fournir la preuve des charges qu'ils ont déclaré supporter et produire toutes justifications nécessaires.

ART. 11. — En vue d'apprécier si, par leur caractère et leur utilisation, les dépenses dont il est fait état par le chef d'entreprise justifient une exonération, il sera procédé, sur la demande du comité départemental, à des enquêtes soit par des inspecteurs de l'enseignement technique, soit par des inspecteurs du travail ou des ingénieurs des mines, soit par des délégués désignés sur la proposition du comité départemental de l'enseignement technique par le Ministre chargé de l'enseignement technique. — Ces inspecteurs ou délégués vérifieront les conditions dans lesquelles l'apprentissage est réalisé à l'atelier; ils auront le droit de prendre connaissance sur place des livres ou feuilles de paye constatant les salaires ou traitements payés aux techniciens chargés de la formation des apprentis, ainsi qu'aux apprentis eux-mêmes. Ils auront la faculté de visiter les cours et écoles d'enseignement technique ainsi que les laboratoires, de demander communication des budgets des cours ou des écoles, de se rendre compte de l'utilisation des dépenses réellement effectuées.

ART. 12. — Lorsque le comité départemental contestera le bien-fondé de la demande d'exonération, il devra en aviser l'intéressé qui pourra, dans un délai de dix jours, demander à être entendu par lui ou à présenter, par écrit, des explications complémentaires.

ART. 13. — La décision par laquelle le comité départemental aura rejeté, soit totalement, soit partiellement, la demande d'exonération sera notifiée par le préfet à l'intéressé. Celui-ci pourra, conformément au paragraphe 12 de l'article 25 de la loi, faire appel, dans le délai de quinze jours de la notification, auprès de la commission permanente du conseil supérieur de l'enseignement technique. Il devra adresser un mémoire contenant tous moyens à l'appui de son pourvoi et indiquer s'il demande à être entendu par la commission. — La commission statuera, après avoir entendu, à la date fixée par elle, l'intéressé qui en aurait fait la demande. Ses décisions doivent être motivées. Elles sont notifiées par l'intermédiaire du préfet.

ART. 14. — Le préfet, président du comité départemental, pourra, dans les mêmes conditions, faire appel des décisions du comité départemental statuant sur les demandes d'exonération.

ART. 15. — Le pourvoi formé devant la commission permanente du conseil supérieur n'est pas suspensif.

## CHAPITRE III

## Établissement des états matriciels.

ART. 16. — Le comité départemental de l'enseignement technique est convoqué obligatoirement chaque année, avant le 1<sup>er</sup> juin, en session extraordinaire, en vue de l'établissement des états matriciels. — Le comité départemental s'adjoindra pour cette session des représentants dûment qualifiés des professions intéressées. Le préfet appellera à cet effet des délégués, en nombre égal, des groupements professionnels patronaux et ouvriers ; s'il n'existe pas dans le département de groupements professionnels, il appellera des personnes désignées, d'une part, par les chambres de commerce, d'autre part, par les conseils de prud'hommes. Il devra également prendre l'avis des personnes qualifiées qui auront demandé à être entendues.

ART. 17. — Tous les renseignements et communications fournis au comité départemental sont confidentiels. Toutes les communications adressées par le comité aux contribuables doivent être transmises sous enveloppes fermées.

ART. 18. — Le comité départemental, après examen des renseignements fournis par le préfet, détermine la taxe due par chaque assujetti, et statue sur l'imposition du double droit sur la partie omise dans le cas où la déclaration a été reconnue inexacte. Il opère ensuite la déduction de l'exonération qu'il a antérieurement fixée. — L'assujetti qui s'est abstenu de faire sa déclaration, ou de répondre à la demande d'éclaircissement du préfet est taxé d'office. — Les états matriciels ainsi établis sont adressés par le préfet au directeur des contributions directes chargé de la confection des rôles.

## CHAPITRE II

## DES GROUPEMENTS PROFESSIONNELS

Loi du 21 mars 1884, sur les syndicats professionnels  
(Extrait du Livre III).

ART. 1<sup>er</sup>. — Les syndicats professionnels, même de plus de vingt personnes exerçant la même profession, des métiers similaires ou des professions connexes concourant à l'établissement de produits déterminés pourront se constituer librement.

ART. 2. — Les syndicats professionnels ont exclusivement pour objet l'étude et la défense des intérêts économiques, industriels, commerciaux et agricoles.

ART. 3. — Les fondateurs de tout syndicat professionnel devront déposer les statuts et les noms de ceux qui, à un titre quelconqué, seront chargés de l'administration ou de la direction. — Ce dépôt aura lieu à la mairie de la localité où le syndicat est établi et, à Paris, à la préfecture de la Seine. — Ce dépôt sera renouvelé à chaque changement de la direction ou des statuts. — Communication des statuts devra être donnée par le maire ou le préfet de la Seine au procureur de la République. — Les membres de tout syndicat professionnel chargés de l'administration ou de la direction de ce syndicat devront être Français et jouir de leurs droits civils. — Les femmes mariées exerçant une profession ou un métier peuvent, sans l'autorisation de leur mari, adhérer aux syndicats professionnels et participer à leur administration et à leur direction. — Les mineurs âgés de plus de seize ans peuvent adhérer aux syndicats, sauf opposition de leurs père, mère ou tuteur. Ils ne peuvent participer à l'administration ou à la direction. — Peuvent continuer à faire partie d'un syndicat professionnel les personnes qui auront quitté l'exercice de leur fonction ou de leur profession, si elles l'ont exercée au moins un an.

ART. 4. — Les syndicats professionnels jouissent de la personnalité civile. Ils ont le droit d'ester en justice et d'acquérir sans autorisation, à titre gratuit ou à titre onéreux, des biens meubles ou immeubles. — Ils peuvent, devant toutes les juridictions, exercer tous les droits réservés à la partie civile relativement aux faits portant un préjudice direct ou indirect à l'intérêt collectif de la profession qu'ils représentent. — Ils peuvent, en se conformant aux autres dispositions des lois en vigueur, constituer entre leurs membres des caisses spéciales de secours mutuels et de retraites. — Ils peuvent, en outre, affecter une partie de leurs ressources à la création d'habitations à bon marché et à l'acquisition de terrains pour jardins ouvriers, éducation physique et hygiène. — Ils peuvent librement créer et administrer des offices de renseignements pour les offres et les demandes de travail. — Ils peuvent créer, administrer ou subventionner des œuvres professionnelles telles que : institutions professionnelles de prévoyance, laboratoires, champs d'expériences, œuvres d'éducation scientifique, agricole ou sociale, cours et publications intéressant la profession. — Ils peuvent subventionner des sociétés coopératives de production ou de consommation. — Ils peuvent, s'ils y sont autorisés par leurs statuts et à condition de ne pas distribuer de bénéfices, même sous forme de ristourne, à leurs membres : 1° Acheter pour les louer, prêter ou répartir entre leurs membres tous les objets nécessaires à l'exercice de leur profession, matières premières, outils, instruments, machines, engrais, semences, plants, animaux et matières alimentaires pour le bétail ; — 2° Prêter leur entremise gratuite pour la vente des produits provenant exclusivement du travail personnel ou des exploitations des syndiqués, facilit-



ter cette vente par expositions, annonces, publications, groupement de commandes et d'expéditions, sans pouvoir l'opérer sous leur nom et sous leur responsabilité. Ils peuvent passer des contrats ou conventions avec tous autres syndicats, sociétés ou entreprises. Tout contrat ou convention, visant les conditions collectives du travail, est passé dans les conditions déterminées par la loi du 25 mars 1919. — Les syndicats peuvent déposer, en remplissant les formalités prévues par l'article 2 de la loi du 23 juin 1857, modifiée par la loi du 3 mai 1890, leurs marques ou labels. Ils peuvent, dès lors, en revendiquer la propriété exclusive dans les conditions de ladite loi. — Ces marques ou labels peuvent être apposés sur tout produit ou objet de commerce pour en certifier l'origine et les conditions de fabrication. Ils peuvent être utilisés pour tous individus ou entreprises mettant en vente ces produits. — Les peines prévues par les articles 7 à 11 de la loi du 23 juin 1857, contre les auteurs de contrefaçons, apparition, imitation ou usage frauduleux des marques de commerce seront applicables, en matière de contrefaçons, opposition, imitation ou usages frauduleux des marques syndicales ou labels, l'article 163 du Code pénal pourra toujours être appliqué. — Ces syndicats peuvent être consultés sur tous les différends et toutes les questions se rattachant à leur spécialité. — Dans les affaires contentieuses, les avis du Syndicat seront tenus à la disposition des parties qui pourront en prendre communication et copie. — Il n'est dérogé, en aucune façon, aux dispositions des lois spéciales qui auraient accordé aux syndicats des droits non visés dans la présente loi. — Les immeubles et objets mobiliers nécessaires à leurs réunions, à leurs bibliothèques et à leurs cours d'institution professionnelle seront insaisissables. Il en sera de même des fonds de leurs caisses spéciales de secours mutuels et de retraites dans les limites déterminées par l'article 12 de la loi du 1<sup>er</sup> avril 1898 sur les sociétés de secours mutuels.

ART. 5. — Les syndicats professionnels régulièrement constitués d'après les prescriptions de la présente loi, peuvent librement se concerter pour l'étude et la défense de leurs intérêts économiques, industriels, commerciaux et agricoles. — Les dispositions des articles 3 et 4 sont applicables aux unions de Syndicats qui doivent, d'autre part, faire connaître dans les conditions prévues audit article 4, le nom et le siège social des syndicats qui les composent. — Les unions jouissent, en outre, de tous les droits conférés par l'article 5 aux syndicats professionnels. — Leurs statuts doivent déterminer les règles selon lesquelles les syndicats adhérents à l'union sont représentés dans le conseil d'administration et dans les assemblées générales.

ART. 6. — Tout membre d'un syndicat professionnel peut se retirer à tout instant de l'association, nonobstant toute clause contraire sans préjudice du droit pour le syndicat de réclamer la cotisation afférente aux six mois qui suivent le retrait de l'adhésion. — Toute

personne qui se retire d'un syndicat conserve le droit d'être membre des sociétés de secours mutuels et de retraite pour la vieillesse à l'actif desquelles elle a contribué par des cotisations ou versements de fonds. — En cas de dissolution volontaire, statutaire ou prononcée par justice, les biens de l'association sont dévolus conformément aux statuts, ou, à défaut de dispositions statutaires, suivant les règles déterminées par l'Assemblée générale. En aucun cas, ils ne peuvent être répartis entre les membres adhérents.

ART. 7. — Les infractions aux dispositions des articles 2, 3, 4, 5 et 6 de la présente loi seront poursuivies contre les directeurs ou administrateurs des syndicats et punies d'une amende de 16 à 200 francs. Les tribunaux pourront, en outre, à la diligence du procureur de la République, prononcer la dissolution du syndicat et la nullité des acquisitions d'immeubles faites en violation des dispositions de l'article 6. — En cas de fausses déclarations relatives aux statuts et aux noms et qualités des administrateurs ou directeurs, l'amende pourra être portée à 500 francs.

ART. 8. — La présente loi est applicable aux professions libérales. Une loi spéciale fixera le statut des fonctionnaires.

### CHAPITRE III

## DES CONFLITS DU TRAVAIL

Le nombre des grèves croît de plus en plus.

Il n'est pas facile de dégager avec certitude les causes de ces grèves, mais on peut dire, sans crainte d'être démenti, que c'est surtout pour maintenir ou améliorer leur situation que les ouvriers font grève.

En France, de nombreux arrangements directs aplanissent tous les jours les différends qui surgissent entre patrons et ouvriers.

Il semble que c'est dans la création d'organes d'arbitrage que git la solution du problème et que de leur fonctionnement résultera avec la disparition d'un grand nombre de grèves celle des privations et des souffrances qui atteignent l'ouvrier gréviste et sa famille.

L'État n'intervient que lorsque le conflit est déclaré. Il serait plus efficace qu'il intervint avant la grève en vue de provoquer le rapprochement des adversaires et de trouver un terrain d'entente. C'est l'œuvre des tribunaux d'arbitrage et de conciliation.

La loi du 27 décembre 1892 sur la conciliation et l'arbitrage et la loi du 17 juillet 1908 sur les Conseils consultatifs du travail sont peu appliquées. Divers projets de loi ont été déposés sur le bureau du Parlement pour rendre la conciliation obligatoire.

## CHAPITRE IV

## DE LA PRÉVOYANCE SOCIALE

## A. — ACCIDENTS DU TRAVAIL

Loi du 5 avril 1898 concernant les responsabilités des accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail (*Modifiée par les lois du 22 mars 1902, 31 mars 1905, 17 avril 1906, 5 mars 1917, 17 octobre 1919, 6, 31 juillet et 5 août 1920, 6 janvier 1921, 12 avril 1922, 7 avril et 8 juillet 1926 et 2 février 1927*).

TITRE I. — *Indemnités en cas d'accidents.* — ART. 1<sup>er</sup>. — Les accidents survenus par le fait du travail, ou à l'occasion du travail, aux ouvriers et employés occupés dans l'industrie du bâtiment, les usines, manufactures, chantiers, les entreprises de transports par terre et par eau, de chargement ou de déchargement, les magasins publics, mines, minières, carrières et, en outre, dans toute exploitation ou partie d'exploitation dans laquelle sont fabriquées ou mise en œuvre des matières explosibles, ou dans laquelle il est fait usage d'une machine mue par une force autre que celle de l'homme ou des animaux, donnent droit, au profit de la victime ou de ses représentants, à une indemnité à la charge du chef d'entreprise, à la condition que l'interruption de travail ait duré plus de quatre jours. — Les ouvriers qui travaillent seuls d'ordinaire ne pourront être assujettis à la présente loi par le fait de la collaboration accidentelle d'un ou de plusieurs de leurs camarades.

ART. 2. — Les ouvriers et employés désignés à l'article précédent ne peuvent se prévaloir, à raison des accidents dont ils sont victimes dans leur travail, d'aucunes dispositions autres que celles de la présente loi. — Ceux dont le salaire annuel dépasse huit mille francs ne bénéficient de ces dispositions que jusqu'à concurrence de cette somme. Pour le surplus et jusqu'à dix-huit mille cinq cents francs, ils n'ont droit qu'au quart des rentes stipulées à l'article 3 ; au delà de dix-huit mille cinq cents francs, ils n'ont droit qu'à un huitième, à moins de conventions contraires élevant le chiffre de la quotité.

ART. 3. — Dans les cas prévus à l'article premier, l'ouvrier ou employé a droit : pour l'incapacité absolue et permanente, à une rente égale aux deux tiers de son salaire annuel ; — pour l'incapacité partielle et permanente, à une rente égale à la moitié de la réduction que l'accident aura fait subir au salaire ; — pour l'incapacité temporaire, si l'incapacité de travail a duré plus de quatre jours, à une indemnité journalière, sans distinction entre les jours ouvrables et les dimanches et jours fériés, égale à la moitié du salaire touché



au moment de l'accident, à moins que le salaire ne soit variable ; dans ce dernier cas, l'indemnité journalière est égale à la moitié du salaire moyen des journées de travail pendant le mois qui a précédé l'accident. L'indemnité est due à partir du cinquième jour après celui de l'accident ; toutefois elle est due à partir du premier jour si l'incapacité de travail a duré plus de dix jours. L'indemnité journalière est payable aux époques et lieux de paye usités dans l'entreprise, sans que l'intervalle puisse excéder seize jours. — Lorsque l'accident est suivi de mort, une pension est servie aux personnes ci-après désignées, à partir du décès, dans les conditions suivantes : a) Une rente viagère égale à 20 0/0 du salaire annuel de la victime pour le conjoint survivant non divorcé ou séparé de corps, à la condition que le mariage ait été contracté antérieurement à l'accident. — En cas de nouveau mariage, le conjoint cesse d'avoir droit à la rente mentionnée ci-dessus ; il lui sera alloué, dans ce cas, le triple de cette rente à titre d'indemnité totale. — b) Pour les enfants, légitimes ou naturels, reconnus avant l'accident, orphelins de père ou de mère, âgés de moins de seize ans, une rente calculée sur le salaire annuel de la victime à raison de 15 0/0 de ce salaire s'il n'y a qu'un enfant, de 25 0/0 s'il y en a deux, de 35 0/0 s'il y en a trois et de 40 0/0 s'il y en a quatre ou un plus grand nombre. — Pour les enfants, orphelins de père et de mère, la rente est portée pour chacun d'eux à 20 0/0 du salaire. — L'ensemble de ces rentes ne peut, dans le premier cas, dépasser 40 0/0 du salaire, ni 60 0/0 dans le second. — c) Si la victime n'a ni conjoint ni enfant dans les termes des paragraphes a et b, chacun des ascendants et descendants qui étaient à sa charge recevra une rente viagère pour les ascendants et payable jusqu'à seize ans pour les descendants. Cette rente sera égale à 10 0/0 du salaire annuel de la victime, sans que le montant total des rentes ainsi allouées puisse dépasser 30 0/0. — Chacune des rentes prévues par le paragraphe c est, le cas échéant, réduite proportionnellement. — Les rentes constituées en vertu de la présente loi sont payables à la résidence du titulaire, ou au chef-lieu de canton de cette résidence, et, si elles sont servies par la Caisse nationale des retraites, chez le préposé de cet établissement désigné par le titulaire. — Elles sont payables par trimestre et à terme échu ; toutefois le tribunal peut ordonner le paiement d'avance de la moitié du premier arrérage. — Ces rentes sont incessibles et insaisissables. — Les ouvriers étrangers, victimes d'accidents, qui cesseraient de résider sur le territoire français, recevront, pour toute indemnité, un capital égal à trois fois la rente qui leur avait été allouée. — Il en sera de même pour leurs ayants droit étrangers cessant de résider sur le territoire français, sans que toutefois le capital puisse alors dépasser la valeur actuelle de la rente d'après le tarif visé à l'article 28. — Les représentants étrangers d'un ouvrier étranger ne recevront aucune indemnité en cas d'accident, ils ne

résidaient pas sur le territoire français. — Les dispositions des trois alinéas précédents pourront, toutefois, être modifiées par traités dans la limite des indemnités prévues au présent article, pour les étrangers dont les pays d'origine garantiraient à nos nationaux des avantages équivalents.

ART. 4. — Quelle que soit la durée du travail occasionnée par l'accident, le chef d'entreprise supporte en outre les frais médicaux et pharmaceutiques et les frais funéraires. Ces derniers sont évalués à la somme de deux cents francs au maximum. — La victime peut toujours faire choix elle-même de son médecin et de son pharmacien. Dans ce cas le chef d'entreprise ne peut être tenu des frais médicaux et pharmaceutiques que jusqu'à concurrence de la somme fixée par le juge de paix du canton où est survenu l'accident, conformément à un tarif qui sera établi par arrêté du ministre du Commerce après avis d'une commission spéciale : comprenant des représentants de syndicats de médecins et de pharmaciens ; de syndicats professionnels ouvriers et patronaux ; de sociétés d'assurances contre les accidents de travail et de syndicats de garantie. L'arrêté fixe la durée d'application du tarif. — Le chef d'entreprise est seul tenu dans tous les cas, en outre des obligations contenues en l'article 3, des frais d'hospitalisation qui, tout compris, ne pourront dépasser le tarif établi pour l'application de l'article 24 de la loi du 15 juillet 1893 majoré de 3) 0/0. — Les médecins et pharmaciens ou les établissements hospitaliers peuvent actionner directement le chef d'entreprise. — Au cours du traitement, le chef d'entreprise pourra désigner au juge de paix un médecin chargé de le renseigner sur l'état de la victime. Cette désignation, dûment visée par le juge de paix, donnera audit médecin accès hebdomadaire auprès de la victime en présence du médecin traitant, prévenu deux jours à l'avance par lettre recommandée. — Faute par la victime de se prêter à cette visite, le paiement de l'indemnité journalière sera suspendu par décision du juge de paix, qui convoquera la victime par une simple lettre recommandée. — Si le médecin certifie que la victime est en état de reprendre son travail et que celle-ci le conteste, le chef d'entreprise peut, lorsqu'il s'agit d'une incapacité temporaire, requérir du juge de paix une expertise médicale qui devra avoir lieu dans les cinq jours.

ART. 5. — Les chefs d'entreprise peuvent se décharger pendant les trente, soixante ou quatre-vingt-dix premiers jours, à partir de l'accident, de l'obligation de payer aux victimes les frais de maladie et l'indemnité temporaire, ou une partie seulement de cette indemnité, comme il est spécifié ci-après, s'ils justifient : 1° qu'ils ont affilié leurs ouvriers à des sociétés de secours mutuels et pris à leur charge une quote-part de la cotisation qui aura été déterminée d'un commun accord et en se conformant aux statuts-types approuvés par le ministre compétent, mais qui ne devra pas être inférieure au tiers de cette

cotisation ; — 2<sup>e</sup> que ces sociétés assurent à leurs membres, en cas de blessures, pendant trente, soixante ou quatre-vingt-dix jours, les soins médicaux et pharmaceutiques et une indemnité journalière. — Si l'indemnité journalière servie par la société est inférieure à la moitié du salaire quotidien de la victime, le chef d'entreprise est tenu de lui verser la différence.

ART. 6. — Les exploitants de mines, minières et carrières peuvent se décharger des frais et indemnités mentionnés à l'article précédent moyennant une subvention annuelle versée aux caisses ou sociétés de secours constituées dans ces entreprises, en vertu de la loi du 29 juin 1894. — Le montant et les conditions de cette subvention devront être acceptés par la société et approuvés par le ministre des Travaux publics. — Ces deux dispositions seront applicables à tous autres chefs d'industrie qui auront créé en faveur de leurs ouvriers des caisses particulières de secours en conformité du titre III de la loi du 29 juin 1894. L'approbation prévue ci-dessus sera, en ce qui les concerne, donnée par le ministre du Commerce et de l'Industrie.

ART. 7. — Indépendamment de l'action résultant de la présente loi, la victime ou ses représentants conservent, contre les auteurs de l'accident, autres que le patron ou ses ouvriers et préposés, le droit de réclamer la réparation du préjudice causé, conformément aux règles du droit commun. — L'indemnité qui leur sera allouée exonérera à due concurrence le chef de l'entreprise des obligations mises à sa charge. Dans le cas où l'accident a entraîné une incapacité permanente ou la mort, cette indemnité devra être attribuée sous forme de rentes servies par la Caisse nationale des retraites. — En outre de cette allocation sous forme de rente, le tiers reconnu responsable pourra être condamné, soit envers la victime, soit envers le chef de l'entreprise, si celui-ci intervient dans l'instance, au paiement des autres indemnités et frais prévus aux articles 3 et 4 ci-dessus. — Cette action contre les tiers responsables pourra même être exercée par le chef d'entreprise, à ses risques et périls, aux lieu et place de la victime ou de ses ayants droit, si ceux-ci négligent d'en faire usage.

ART. 8. — Le salaire qui servira de base à la fixation de l'indemnité allouée à l'ouvrier, âgé de moins de seize ans, ou à l'apprenti victime d'un accident, ne sera pas inférieur au salaire le plus bas des ouvriers valides de la même catégorie occupés dans l'entreprise. — Toutefois, dans le cas d'incapacité temporaire, l'indemnité de l'ouvrier âgé de moins de seize ans ne pourra pas dépasser le montant de son salaire.

ART. 9. — Lors du règlement définitif de la rente viagère, après le délai de révision prévu à l'article 19, la victime peut demander que le quart au plus du capital nécessaire à l'établissement de cette rente, calculé d'après les tarifs dressés pour les victimes d'accidents par la Caisse des retraites pour la vieillesse, lui soit attribué en espèces. — Elle peut aussi demander que ce capital, ou ce capital réduit du



quart au plus, comme il vient d'être dit, serve à constituer sur sa tête une rente viagère réversible, pour moitié au plus, sur la tête de son conjoint. Dans ce cas, la rente viagère sera diminuée de façon qu'il ne résulte de la réversibilité aucune augmentation de charges pour le chef d'entreprise. — Le tribunal, en chambre du conseil, statuera sur ces demandes.

ART. 10. — Le salaire servant de base à la fixation des rentes s'entend, pour l'ouvrier occupé dans l'entreprise, pendant les douze mois avant l'accident, de la rémunération effective qui lui a été allouée pendant ce temps, soit en argent, soit en nature: — Pour les ouvriers occupés pendant moins de douze mois avant l'accident, il doit s'entendre de la rémunération effective qu'ils ont reçue depuis leur entrée dans l'entreprise, augmentée de la rémunération qu'ils auraient pu recevoir pendant la période de travail nécessaire pour compléter les douze mois, d'après la rémunération moyenne des ouvriers de la même catégorie pendant ladite période. — Si le travail n'est pas continu, le salaire annuel est calculé, tant d'après la rémunération reçue pendant la période d'activité que d'après le gain de l'ouvrier pendant le reste de l'année. — Si, pendant les périodes visées aux alinéas précédents, l'ouvrier a chômé exceptionnellement et pour des causes indépendantes de sa volonté, il est fait état du salaire moyen qui eût correspondu à ces chômages.

TITRE II. — *Déclaration des accidents et enquêtes.* — ART. 11. — Tout accident ayant occasionné une incapacité de travail doit être déclaré dans les quarante-huit heures, non compris les dimanches et jours fériés, par le chef d'entreprise ou ses préposés, au maire de la commune qui en dresse procès-verbal et en délivre immédiatement un récépissé. — La déclaration et le procès-verbal doivent indiquer, dans la forme réglée par décret, les nom, qualité et adresse du chef d'entreprise, le lieu précis, l'heure et la nature de l'accident, les circonstances dans lesquelles il s'est produit, la nature des blessures, les noms et adresses des témoins. — Dans les quatre jours qui suivent l'accident, si la victime n'a pas repris son travail, le chef d'entreprise doit déposer à la mairie qui lui en délivre immédiatement récépissé, un certificat de médecin indiquant l'état de la victime, les suites probables de l'accident, et l'époque à laquelle il sera possible d'en connaître le résultat définitif. — La déclaration d'accident pourra être faite dans les mêmes conditions par la victime ou ses représentants jusqu'à l'expiration de l'année qui suit l'accident. — Avis de l'accident, dans les formes réglées par décret, est donné immédiatement par le maire à l'inspecteur départemental du travail ou à l'ingénieur ordinaire des mines chargé de la surveillance de l'entreprise. — L'article 15 de la loi du 2 nov. 1892 et l'article 41 de la loi du 12 juin 1893 cessent d'être applicables dans les cas visés par la présente loi.

ART. 12. — Dans les vingt-quatre heures qui suivent le dépôt

du certificat, et au plus tard dans les cinq jours qui suivent la déclaration de l'accident, le maire transmet au juge de paix du canton où l'accident s'est produit la déclaration et soit le certificat médical, soit l'attestation qu'il n'a pas été produit de certificat. — Lorsque, d'après le certificat médical, produit en exécution du paragraphe précédent ou transmis ultérieurement par la victime à la justice de paix, la blessure paraît devoir entraîner la mort ou une incapacité permanente, absolue ou partielle de travail, ou lorsque la victime est décédée, le juge de paix, dans les vingt-quatre heures, procède à une enquête à l'effet de rechercher : 1° La cause, la nature et les circonstances de l'accident ; — 2° Les personnes victimes et le lieu où elles se trouvent, le lieu et la date de leur naissance ; — 3° La nature des lésions ; — 4° Les ayants droit pouvant, le cas échéant, prétendre à une indemnité, le lieu et la date de leur naissance ; — 5° Le salaire quotidien et le salaire annuel des victimes ; — 6° La société d'assurance à laquelle le chef d'entreprise était assuré, ou le syndicat de garantie auquel il était affilié. — Les allocations tarifées par le juge de paix et son greffier, en exécution de l'article 29 de la présente loi et de l'article 31 de la loi de finances du 13 avril 1900, seront avancées par le Trésor.

ART. 13. — L'enquête a lieu contradictoirement dans les formes prescrites par les articles 35, 36, 37, 38 et 39 du Code de procédure civile, en présence des parties intéressées ou celles-ci convoquées d'urgence par lettre recommandée. — Le juge de paix doit se transporter auprès de la victime de l'accident qui se trouve dans l'impossibilité d'assister à l'enquête. — Lorsque le certificat médical ne lui paraîtra pas suffisant, le juge de paix pourra désigner un médecin pour examiner le blessé. — Il peut aussi commettre un expert pour l'assister dans l'enquête. — Il n'y a pas lieu, toutefois, à nomination d'expert dans les entreprises administrativement surveillées ni dans celles de l'État placées sous le contrôle d'un service distinct du service de gestion, ni dans les établissements nationaux où s'effectuent des travaux que la sécurité publique oblige à tenir secrets. Dans ces divers cas, les fonctionnaires chargés de la surveillance ou du contrôle de ces établissements ou entreprises, et, en ce qui concerne les exploitations minières, les délégués à la sécurité des ouvriers mineurs, transmettent au juge de paix, pour être joint au procès-verbal d'enquête, un exemplaire de leur rapport. — Sauf les cas d'impossibilité matérielle dûment constatés dans le procès-verbal, l'enquête doit être close dans le plus bref délai et, au plus tard, dans les dix jours à partir de l'accident. Le juge de paix avertit, par lettre recommandée, les parties de la clôture de l'enquête et du dépôt de là minute au greffe, où elles pourront, pendant un délai de cinq jours, en prendre connaissance et s'en faire délivrer une expédition, affranchie du timbre et de l'enregistrement. A l'expiration de ce délai de cinq jours, le dossier de l'enquête

est transmis au président du tribunal civil de l'arrondissement.

ART. 14. — Sont punis d'une amende de un à quinze francs (1 à 15 francs) les chefs d'industrie ou leurs préposés qui auront contrevenu aux dispositions de l'article 11. — En cas de récidive dans l'année, l'amende peut être élevée de seize à trois cents francs (16 à 300 francs). — L'article 463 du Code pénal est applicable aux contraventions prévues par le présent article.

TITRE III. — *Compétence. — Juridictions. — Procédure. — Revision.*

— ART. 15. — Sont jugées en dernier ressort par le juge de paix du canton où l'accident s'est produit, à quelque chiffre que la demande puisse s'élever et dans les quinze jours de la demande, les contestations relatives, tant aux frais funéraires qu'aux indemnités temporaires. — Les indemnités temporaires sont dues jusqu'au jour du décès ou jusqu'à la consolidation de la blessure, c'est-à-dire jusqu'au jour où la victime se trouve, soit complètement guérie, soit définitivement atteinte d'une incapacité permanente; elles continuent, dans ce dernier cas, à être servies jusqu'à décision définitive prévue à l'article suivant, sous réserve des dispositions du quatrième alinéa dudit article. — Si l'une des parties soutient, avec un certificat médical à l'appui, que l'incapacité est permanente, le juge de paix doit se déclarer incompétent par une décision dont il transmet, dans les trois jours, expédition au président du tribunal civil. Il fixe en même temps, s'il ne l'a fait antérieurement, l'indemnité journalière. — Le juge de paix connaît des demandes relatives au paiement des frais médicaux et pharmaceutiques jusqu'à trois cents francs en dernier ressort et à quelque chiffre que ces demandes s'élèvent, à charge d'appel dans la quinzaine de la décision. — Les décisions du juge de paix relatives à l'indemnité journalière sont exécutoires nonobstant opposition. Ces décisions sont susceptibles de recours en cassation pour violation de la loi. — Lorsque l'accident s'est produit en territoire étranger, le juge de paix compétent, dans les termes de l'article 12 et du présent article, est celui du canton où est situé l'établissement ou le dépôt auquel est attachée la victime. — Lorsque l'accident s'est produit en territoire français, hors du canton où est situé l'établissement ou le dépôt auquel est attachée la victime, le juge de paix de ce dernier canton devient exceptionnellement compétent, à la requête de la victime ou de ses ayants droit adressée, sous forme de lettre recommandée, au juge de paix du canton où l'accident s'est produit, avant qu'il n'ait été saisi dans les termes du présent article ou bien qu'il n'ait clos l'enquête prévue à l'article 13. Un récépissé est immédiatement envoyé au requérant par le greffe, qui avise, en même temps que le chef d'entreprise, le juge de paix devenu compétent et, s'il y a lieu, transmet à ce dernier le dossier de l'enquête dès sa clôture, en avertissant les parties, conformément à l'article 13. — Si, après transmission du dossier de l'enquête



au président du tribunal du lieu de l'accident, et avant convocation des parties, la victime ou ses ayants droit justifient qu'ils n'ont pu, avant la clôture de l'enquête, user de la faculté prévue à l'alinéa précédent, le président peut, les parties entendues, se dessaisir du dossier et le transmettre au président du tribunal de l'arrondissement où est situé l'établissement ou le dépôt auquel est attachée la victime.

ART. 16. — En ce qui touche les autres indemnités prévues par la présente loi, le président du tribunal de l'arrondissement, dans les cinq jours de la transmission du dossier, si la victime est décédée avant la clôture de l'enquête, ou, dans le cas contraire, dans les cinq jours de la production par la partie la plus diligente, soit de l'acte de décès, soit d'un accord écrit des parties reconnaissant le caractère permanent de l'incapacité, ou bien de la réception de la décision du juge de paix visée au troisième alinéa de l'article précédent, ou enfin, s'il n'a été saisi d'aucune de ces pièces, dans les cinq jours précédant l'expiration du délai de prescription prévu à l'article 18, lorsque la date de cette expiration lui est connue, convoque la victime ou ses ayants droit, le chef d'entreprise, qui peut se faire représenter et, s'il y a assurance, l'assureur. Il peut, du consentement des parties, commettre un expert dont le rapport doit être déposé dans le délai de huitaine. — En cas d'accord entre les parties, conforme aux prescriptions de la présente loi, l'indemnité est définitivement fixée par l'ordonnance du président qui en donne acte en indiquant, sous peine de nullité, le salaire de base et la réduction que l'accident aura fait subir au salaire. — En cas de désaccord, les parties sont renvoyées à se pourvoir devant le tribunal, qui est saisi par la partie la plus diligente et statue comme en matière sommaire, conformément au titre XXIV du livre II du Code de procédure civile. Son jugement est exécutoire par provision. — En ce cas, le président, par son ordonnance de renvoi et sans appel, peut substituer à l'indemnité journalière une provision inférieure au demi-salaire ou, dans la même limite, allouer une provision aux ayants droit. Ces provisions peuvent être allouées ou modifiées en cours d'instance par voie de référé sans appel. Elles sont incessibles ou insaisissables et payables dans les mêmes conditions que l'indemnité journalière. — Les arrérages des rentes courent à partir du jour du décès ou de la consolidation de la blessure, sans se cumuler avec l'indemnité journalière ou la provision. — Dans le cas où le montant de l'indemnité ou de la provision excède les arrérages dus jusqu'à la date de la fixation de la rente, le tribunal peut ordonner que le surplus sera précompté sur les arrérages ultérieurs dans la proportion qu'il détermine. — S'il y a assurance, l'ordonnance du président ou le jugement fixant la rente allouée spécifie que l'assureur est substitué au chef d'entreprise dans les termes du titre IV, de façon à supprimer tout recours de la victime contre ledit chef d'entreprise.

ART. 17. — Les jugements rendus en vertu de la présente loi sont susceptibles d'appel selon les règles du droit commun. Toutefois, l'appel sous réserve des dispositions de l'article 449 du Code de procédure civile, devra être interjeté dans les trente jours de la date du jugement s'il est contradictoire, et, s'il est par défaut, dans la quinzaine à partir du jour où l'opposition ne sera plus recevable. — L'opposition ne sera plus recevable en cas de jugement par défaut contre partie, lorsque le jugement aura été signifié à personne, passé le délai de quinze jours à partir de cette signification. — La Cour statuera d'urgence dans le mois de l'acte d'appel. Les parties pourront se pourvoir en cassation. — Toutes les fois qu'une expertise médicale sera ordonnée, soit par le juge de paix, soit par le tribunal ou par la Cour d'appel, l'expert ne pourra être le médecin qui a soigné le blessé, ni un médecin attaché à l'entreprise ou à la société d'assurance à laquelle le chef d'entreprise est affilié.

ART. 18. — L'action en indemnité prévue par la présente loi se prescrit par un an à dater du jour de l'accident ou de la clôture de l'enquête du juge de paix, ou de la cessation du paiement de l'indemnité temporaire. — L'article 55 de la loi du 10 août 1871 et l'article 124 de la loi du 5 avril 1884 ne sont pas applicables aux instances suivies contre les départements ou les communes, en exécution de la présente loi.

ART. 19. — La demande en revision de l'indemnité, fondée sur une aggravation ou une atténuation de l'infirmité de la victime, ou son décès par suite des conséquences de l'accident, est ouverte pendant trois ans à compter, soit de la date à laquelle cesse d'être due l'indemnité journalière, s'il n'y a point eu attribution de rente, soit de l'accord intervenu entre les parties ou de la décision judiciaire passée en force de chose jugée, même si la pension a été remplacée par un capital en conformité de l'article 21. — Dans tous les cas, sont applicables à la revision les conditions de compétence et de procédure fixées par les articles 16, 17 et 22. Le président du tribunal est saisi par voie de simple déclaration au greffe. — S'il y a accord entre les parties, conforme aux prescriptions de la présente loi, le chiffre de la rente révisée est fixé par ordonnance du président, qui donne acte de cet accord en spécifiant, sous peine de nullité, l'aggravation ou l'atténuation de l'infirmité. — En cas de désaccord, l'affaire est renvoyée devant le tribunal, qui est saisi par la partie la plus diligente et qui statue comme en matière sommaire et ainsi qu'il est dit à l'article 16. — Au cours des trois années pendant lesquelles peut s'exercer l'action en revision, le chef d'entreprise pourra désigner au président du tribunal un médecin chargé de le renseigner sur l'état de la victime. — Cette désignation, dûment visée par le président, donnera audit médecin accès trimestriel auprès de la victime. Faute de sa désignation, le tribunal, à la demande de la partie lésée, pourra désigner, à la visite, tout paiement

d'arrérages sera suspendu par décision du président qui convoquera la victime par simple lettre recommandée. — Les demandes prévues à l'article 9 doivent être portées devant le tribunal au plus tard dans le mois qui suit l'expiration du délai imparti pour l'action en revision.

ART. 20 (*texte nouveau*). — Aucune des indemnités déterminées par la présente loi ne peut être attribuée à la victime qui a intentionnellement provoqué l'accident. — Le tribunal a le droit, s'il est prouvé que l'accident est dû à une faute inexcusable de l'ouvrier, de diminuer la pension fixée au titre premier. — Lorsqu'il est prouvé que l'accident est dû à la faute inexcusable du patron ou de ceux qu'il s'est substitués dans la direction, l'indemnité pourra être majorée, mais sans que la rente ou le total des rentes allouées puisse dépasser soit la réduction, soit le montant du salaire annuel. — En cas de poursuites criminelles, les pièces de procédure seront communiquées à la victime ou à ses ayants droit. — Le même droit appartiendra au patron ou à ses ayants droit.

ART. 21. — Les parties peuvent toujours, après détermination du chiffre de l'indemnité due à la victime de l'accident, décider que le service de la pension sera suspendu et remplacé tant que l'accord subsistera, par toute autre mode de réparation. — En dehors des cas prévus à l'article 3, la pension ne pourra être remplacée par le paiement d'un capital que si elle n'est pas supérieure à cent francs et si le titulaire est majeur. Ce rachat ne pourra être effectué que d'après le tarif spécifié à l'article 24.

ART. 22. — Le bénéfice de l'assistance judiciaire est accordé de plein droit, sur le visa du procureur de la République, à la victime de l'accident ou à ses ayants droit devant le président du tribunal civil et devant le tribunal. — Le procureur de la République procède comme il est prescrit à l'article 13 (paragraphe 2 et suivants) de la loi du 22 janvier 1851, modifiée par la loi du 10 juillet 1901. — Le bénéfice de l'assistance judiciaire s'applique de plein droit à l'acte d'appel et le cas échéant à l'acte par lequel est signifié le désistement de l'appel. Le premier président de la Cour, sur la demande qui lui sera adressée à cet effet, désignera l'avoué, puis la Cour dont la constitution figurera dans l'acte d'appel et consultera un huissier pour le signifier. — Si la victime de l'accident se pourvoit devant le bureau d'assistance judiciaire pour en obtenir le bénéfice en vue de toute la procédure d'appel, elle sera dispensée de fournir les pièces justificatives de son indigence. — Le bénéfice de l'assistance judiciaire s'étend de plein droit aux instances devant le juge de paix, à tous les actes d'exécution mobilière et immobilière et à toute contestation incidente à l'exécution des décisions judiciaires. — L'assisté devra faire déterminer par le bureau d'assistance judiciaire de son domicile la nature des actes et procédure d'exécution auxquels l'assistance s'appliquera.



TITRE IV. — *Garanties.* — ART. 23. — La créance de la victime de l'accident ou de ses ayants droit relative aux frais médicaux, pharmaceutiques et funéraires, ainsi qu'aux indemnités allouées à la suite de l'incapacité temporaire de travail, est garantie par le privilège de l'article 2101 du Code civil et y sera inscrite sous le n° 6. — Le paiement des indemnités pour incapacité permanente de travail ou accident suivi de mort est garanti conformément aux dispositions des articles suivants.

ART. 24. — A défaut, soit par les chefs d'entreprise débiteurs, soit par les Sociétés d'assurances à primes fixes ou mutuelles, ou les Syndicats de garantie liant solidairement tous leurs adhérents, de s'acquitter, au moment de leur exigibilité, des indemnités mises à leur charge à la suite d'accident ayant entraîné la mort ou une incapacité permanente de travail, le paiement en sera assuré aux intéressés par les soins de la Caisse nationale des retraites pour la vieillesse, au moyen d'un fonds spécial de garantie constitué comme il va être dit, et dont la gestion sera confiée à ladite Caisse.

ART. 25. — Le fonds de garantie institué par l'article 24 de la loi du 9 avril 1924 ainsi que le fonds spécial de prévoyance dit des blessés de la guerre seront alimentés par le produit des taxes ci-après : 1° Une contribution des exploitants assurés perçue sur toutes les primes d'assurance acquittées au titre de la législation des accidents du travail. Cette contribution sera recouvrée en même temps que les primes par les organismes d'assurances et de la caisse nationale d'assurances et versée au fonds de garantie ou au fonds spécial de prévoyance ; — 2° Une contribution des exploitants non assurés, autres que l'État employeur, perçue sur les capitaux constitutifs des rentes mises à leur charge. Cette contribution sera liquidée lors de l'enregistrement des ordonnances, jugements et arrêts allouant lesdites rentes et recouvrée comme en matière d'assistance judiciaire, pour le compte du fonds de garantie et du fonds spécial de prévoyance dit « des blessés de la guerre », par l'administration de l'enregistrement ; le capital constitutif sera déterminé, pour la perception de la contribution, d'après un barème et dans les conditions fixées par un règlement d'administration publique. — Un règlement d'administration publique déterminera les conditions dans lesquelles seront effectués les versements des sociétés d'assurances, des syndicats de garantie et de la caisse nationale d'assurances en cas d'accidents, ainsi que toutes les mesures nécessaires pour assurer l'exécution du présent article. — Toute contravention aux prescriptions de ce règlement sera punie d'une amende de cent à mille francs (100 à 1.000 francs). — Les ordonnances, jugements et arrêts allouant des rentes, en exécution de la loi précitée du 9 avril 1898 et de celle du 25 septembre 1919, devront indiquer si le chef d'entreprise est ou non assuré. — Les organismes d'assurances devront, en outre, acquitter pour la

IRIS - LILLIAD Université Lille 1

bution fixée suivant les modalités prévues à l'article 27, dernier alinéa, de la loi du 9 avril 1898, modifié par l'article 53 de la loi de finances du 31 juillet 1920 ; elle devra rester exclusivement à leur charge. — La quotité des taxes prévues à l'article 1<sup>er</sup> sera modifiée chaque année, par décret, dans les conditions fixées par la loi du 29 mai 1909, sauf pour les deux premières années d'application de la présente loi. Pour ces deux années, le montant des contributions sera de 2 0/0, sur les primes d'assurances et de 4 0/00 sur les capitaux constitutifs, en ce qui concerne le « fonds spécial de prévoyance ». — Pour les deux années visées à l'alinéa précédent, la contribution des organismes d'assurances au fonds spécial de prévoyance est fixée à un vingtième des taxes établies par l'arrêté du ministre du Travail déterminant les frais de contrôle et de surveillance desdits organismes pour l'année 1920.

ART. 26. — La Caisse nationale des retraites exercera un recours contre les chefs d'entreprise débiteurs, pour le compte desquels des sommes auront été payées par elle, conformément aux dispositions qui précèdent. — En cas d'assurance du chef d'entreprise, elle jouira, pour le remboursement de ses avances, du privilège de l'article 2102 du Code civil sur l'indemnité due par l'assureur et n'aura plus de recours contre le chef d'entreprise. — Un règlement d'administration publique déterminera les conditions d'organisation et de fonctionnement du service conféré par les dispositions précédentes à la Caisse nationale des retraites et, notamment, les formes du recours à exercer contre les chefs d'entreprise débiteurs ou les sociétés d'assurances et les syndicats de garantie, ainsi que les conditions dans lesquelles les victimes d'accidents ou leurs ayants droit seront admis à réclamer à la Caisse le paiement de leurs indemnités. — Les décisions judiciaires n'emporteront hypothèque que si elles sont rendues au profit de la Caisse des retraites exerçant son recours contre les chefs d'entreprise ou les compagnies d'assurances.

ART. 27. — Les compagnies d'assurances mutuelles ou à primes fixes contre les accidents, françaises ou étrangères, sont soumises à la surveillance et au contrôle de l'État et astreintes à constituer des réserves ou cautionnements dans les conditions déterminées par un règlement d'administration publique. — Le montant des réserves mathématiques et des cautionnements sera affecté par privilège au paiement des pensions et indemnités. — Les syndicats de garantie seront soumis à la même surveillance, et un règlement d'administration publique déterminera les conditions de leur création et de leur fonctionnement. A toute époque, un arrêté du ministre du Commerce peut mettre fin aux opérations de l'assureur qui ne remplit pas les conditions prévues par la présente loi ou dont la situation financière ne donne pas des garanties suffisantes pour lui permettre de remplir ses engagements. Cet arrêté est pris après avis conforme du comité consultatif des assurances contre les accidents

du travail, l'assureur ayant été mis en demeure de fournir ses observations par écrit dans un délai de quinzaine. Le comité doit émettre son avis dans la quinzaine suivante. — Le dixième jour, à midi à compter de la publication de l'arrêté au *Journal officiel*, tous les contrats contre les risques régis par la présente loi cessent de plein droit d'avoir effet, les primes restant à payer ou les primes payées d'avance n'étant acquises à l'assureur qu'en proportion de la période d'assurance réalisée, sauf stipulation contraire dans les polices. — Le Comité consultatif des assurances contre les accidents du travail est divisé en deux sections : la première statue sur toutes les affaires d'assurances contre les accidents du travail à l'exception de celles qui ont trait à l'application de la loi du 15 décembre 1922 ; la seconde connaît spécialement des questions relatives aux assurances contre les accidents dans l'agriculture. Elles se réunissent et délibèrent en assemblée plénière sur les questions communes d'application de la législation des accidents du travail. — Sont membres des deux sections : quatre sénateurs et six députés, élus par leurs collègues ; le directeur du contrôle des assurances privées ; le directeur du travail ; le directeur de l'agriculture ; le directeur général de la Caisse des dépôts et consignations ; trois membres agrégés de l'Institut des actuaires français ; un professeur de la Faculté de droit de Paris. — Font, en outre, partie de la première section : le président du Tribunal de commerce de la Seine ou un président de section désigné par lui ; le président de la Chambre de commerce de Paris ou un membre désigné par lui ; deux ouvriers et deux patrons membres du Conseil supérieur du travail et désignés par lui ; deux directeurs ou administrateurs de sociétés mutuelles d'assurances contre les accidents du travail ou de syndicats de garantie, élus par ces sociétés ; deux directeurs ou administrateurs de sociétés anonymes ou en commandite d'assurances contre les accidents du travail : deux mutilés du travail désignés par la Fédération nationale des mutilés du travail ; quatre personnes spécialement compétentes en matière d'assurances contre les accidents du travail. — Font partie de la deuxième section : un inspecteur des associations agricoles ; un délégué du Conseil supérieur de l'agriculture ; un délégué des chambres d'agriculture ou des offices régionaux agricoles désigné par le Conseil supérieur de l'agriculture ; deux exploitants et deux ouvriers agricoles désignés par le Conseil supérieur de l'agriculture ; quatre directeurs ou administrateurs de sociétés ou caisses mutuelles d'assurances agricoles constituées dans les termes de la loi du 4 juillet 1900, élus par ces sociétés ; deux directeurs ou administrateurs de sociétés d'assurances à primes fixes ou mutuelles contre les accidents du travail ou de syndicats de garantie pratiquant l'assurance contre les accidents agricoles ; deux mutilés du travail agricole désignés par la Fédération nationale des mutilés ; quatre personnes com-



pétentes en matière d'assurances contre les accidents du travail dans l'agriculture. Les frais de toute nature résultant de la surveillance et du contrôle seront couverts au moyen de contributions proportionnelles au montant des primes ou cotisations encaissées et fixées annuellement pour chaque organisme, par arrêté du ministre du travail. La contribution des sociétés ou syndicats de garantie en liquidation sera déterminée d'après le montant total annuel des charges pour règlements de sinistres.

ART. 28. — Le versement du capital représentatif des pensions allouées en vertu de la présente loi ne peut être exigé des débiteurs. — Toutefois, les débiteurs qui désireront se libérer en une fois pourront verser le capital représentatif de ces pensions à la Caisse nationale des retraites, qui établira à cet effet, dans les six mois de la promulgation de la présente loi, un tarif tenant compte de la mortalité des victimes d'accidents ou de leurs ayants droit. — Lorsqu'un chef d'entreprise cesse son industrie, soit volontairement, soit par décès, liquidation judiciaire ou faillite, soit par cession d'établissement, le capital représentatif des pensions à sa charge devient exigible de plein droit et sera versé à la Caisse nationale des retraites. Ce capital sera déterminé au jour de son exigibilité, d'après le tarif visé au paragraphe précédent. — Toutefois, le chef d'entreprise ou ses ayants droit peuvent être exonérés du versement de ce capital, s'ils fournissent des garanties qui seront à déterminer par un règlement d'administration publique.

TITRE V. — *Dispositions générales.* — ART. 29. — Les procès-verbaux, certificats, actes de notoriété, significations, jugements et autres actes faits ou rendus en vertu et pour l'exécution de la présente loi, sont délivrés gratuitement, visés pour timbre et enregistrés gratis lorsqu'il y a lieu à la formalité de l'enregistrement. — Dans les six mois de la promulgation de la présente loi, un décret déterminera les émoluments des greffiers de justice de paix pour leur assistance et la rédaction des actes de notoriété, procès-verbaux, certificats, significations, jugements, envois de lettres recommandées, extraits, dépôts de la minute d'enquête au greffe, et pour tous les actes nécessités par l'application de la présente loi, ainsi que les frais de transport auprès des victimes et d'enquête sur place.

ART. 30. — Toute convention contraire à la présente loi est nulle de plein droit. Cette nullité, comme la nullité prévue au deuxième alinéa de l'article 16 et au troisième alinéa de l'article 19, peut être poursuivie par tout intéressé devant le tribunal visé auxdits articles. — Toutefois, dans ce cas, l'assistance judiciaire n'est accordée que dans les conditions du droit commun. — La décision qui prononce la nullité fait courir à nouveau, du jour où elle devient définitive, les délais impartis, soit pour la prescription, soit pour la revision. — Sont nulles de plein droit et de nul effet les obligations contractées,

pour rémunération de leurs services, envers les intermédiaires qui se chargent, moyennant émoluments convenus à l'avance, d'assurer aux victimes d'accidents ou à leurs ayants droit le bénéfice des instances ou des accords prévus aux articles 15, 16, 17 et 19. — Est passible d'une amende de seize francs à trois cents francs et, en cas de récidive dans l'année de la condamnation, d'une amende de cinq cents francs à deux mille francs, sous réserve de l'application de l'article 463 du Code pénal : 1° tout intermédiaire convaincu d'avoir offert les services spécifiés à l'alinéa précédent ; 2° tout chef d'entreprise ayant opéré, sur le salaire de ses ouvriers ou employés, des retenues pour l'assurance des risques mis à sa charge par la présente loi ; 3° toute personne qui, soit par menace de renvoi, soit par refus ou menace de refus des indemnités dues en vertu de la présente loi, aura porté atteinte ou tenté de porter atteinte au droit de la victime de choisir son médecin ; 4° tout médecin ayant, dans des certificats délivrés pour l'application de la présente loi, sciemment dénaturé les conséquences des accidents.

ART. 31. — Les chefs d'entreprise sont tenus, sous peine d'une amende de un à quinze francs (1 à 15 francs), de faire afficher dans chaque atelier la présente loi et les règlements d'administration relatifs à son exécution. — En cas de récidive dans la même année, l'amende sera de seize à cent francs (16 à 100 francs). — Les infractions aux dispositions des articles 11 et 31 pourront être constatées par les inspecteurs du travail.

ART. 32. — Il n'est point dérogé aux lois, ordonnances et règlements concernant les pensions des ouvriers, apprentis et journaliers appartenant aux ateliers de la Marine et celles des ouvriers immatriculés des manufactures d'armes dépendant du Ministère de la Guerre.

**Loi du 2 août 1923 étendant le régime de la législation sur les accidents du travail aux gens de maison, domestiques, concierges et serviteurs à gages.**

ART. 1<sup>er</sup>. — Dans le délai de six mois à compter de la promulgation de la présente loi, la législation sur les accidents du travail résultant de la loi du 9 avril 1898 et des lois ultérieures qui l'ont complétée et modifiée, notamment des articles 2, 3 et 6 de la loi du 12 avril 1906, ainsi que des dispositions de la loi du 30 décembre 1922, est étendue aux domestiques, gens de maison, serviteurs à gages, concierges et salariés du même genre à un titre quelconque, attachés ou non à la personne.

ART. 2. — Le salaire servant de base à la fixation des indemnités s'entend uniquement, à l'exclusion de tous autres profits en argent, de la rémunération et des prestations en nature directement allouées par le maître, en exécution du contrat de louage de services. — Toutefois, les rétributions accessoires et habituelles concourant à former la rémunération effective, notamment sous forme d'étrennes,

devront être ajoutées au salaire de base pour le calcul de l'indemnité en cas d'incapacité permanente ou de mort.

## B. — ASSURANCES SOCIALES.

Pour les assurances sociales, nos lecteurs voudront bien se reporter à la loi du 5 avril 1928 et au décret du 30 mai 1929, portant Règlement d'administration publique.

Néanmoins, nous avons résumé la loi et les divers règlements parus à ce jour (10 juillet 1930) sous la forme d'un tableau qui contient toutes les dispositions.

I. — *Comment peut-on s'assurer ?*

II. — *Que paie-t-on ?*

III. — *Tableau indiquant les retraites du régime transitoire.*

IV. — *Risques de répartition.*

V. — *Risques de capitalisation.*

### I. — Comment peut-on s'assurer ?

1° L'assuré doit être immatriculé.

C'est l'employeur qui doit faire la déclaration au service départemental des assurances sociales, avant le 1<sup>er</sup> juin 1930, pour tout salarié faisant partie de son personnel au 15 mai 1930.

Postérieurement à l'application de la loi, ces renseignements doivent être fournis dans les huit jours de l'embauchage.

L'assuré, s'il ne veut pas fournir les renseignements concernant sa situation de famille à son employeur, peut adresser directement un bulletin individuel contenant ces renseignements au service départemental des assurances sociales.

C'est le service départemental qui immatricule et délivre une carte d'assurance qui est adressée à l'assuré par lettre recommandée.

2° L'assuré doit être membre d'une caisse d'assurances sociales.

Il peut — mais il n'y est pas obligé — choisir sa caisse. Le choix qu'il fait est valable au moins un an, dans les deux premières années après l'application de la loi, ensuite il sera valable pour deux ans au moins.

Si l'assuré ne choisit pas sa caisse, il est affilié d'office à la caisse départementale pour les risques maladie, maternité, décès et soins aux invalides et à la caisse nationale des retraites pour les risques invalidité et vieillesse.

Si l'assuré fait déjà partie d'une société de secours mutuels, il est présumé adhérer à la caisse d'assurances sociales créée par la Société de secours mutuels. Mais il peut choisir une autre caisse ; il doit faire connaître son choix avant le 1<sup>er</sup> juin 1930.



CONDITIONS D'INSCRIPTION dans les catégories		PREMIÈRE CATÉGORIE			DEUXIÈME CATÉGORIE		
Salariés gagnant { par jour par an..		au-dessous de 8 francs de 1 à 2.399 francs			de 8 à 14 fr. 99 de 2.399 à 4.499 francs		
Salaire moyen de la catégorie servant de base pour les calculs.....		6 francs			12 francs		
		Employeur	Salarié	Total	Employeur	Salarié	Total
Ce qu'on { par jour ... devra payer { par semaine par mois... par an.....		0,25	0,25	0,50	0,50	0,50	1,00
		1,50	1,50	3,00	3,00	3,00	6,00
		6,00	6,00	12,00	12,00	12,00	24,00
		72,00	72,00	144,00	144,00	144,00	288,00

Les salariés chargés de famille, dont le salaire dépasse 15.000 francs seront inscrits aux Assurances sociales, si leur salaire ne dépasse pas 17.000 francs, s'ils ont un enfant de moins de 16 ans, 19.000 francs; s'ils en ont deux, 25.000 francs s'ils en ont trois ou davantage.

Ils paieront alors la cotisation de la cinquième catégorie et la cotisation de leur employeur sera remplacée par un versement forfaitaire fixé par décret, annuellement, et imposé à tous les employeurs

paie-t-on ?

TROISIÈME CATÉGORIE			QUATRIÈME CATÉGORIE			CINQUIÈME CATÉGORIE		
de 15 à 19 fr. 99 de 4.500 à 5.999 francs			de 20 à 31 fr. 99 de 6.000 à 9.599 francs			de 32 à 50 francs de 9.600 à 15.000 francs		
18 francs			24 francs			36 francs		
Employeur	Salarié	Total	Employeur	Salarié	Total	Employeur	Salarié	Total
0,75	0,75	1,50	1,60	1,00	2,00	1,75	1,75	3,50
4,50	4,50	9,00	6,00	6,00	12,00	10,00	10,00	20,00
18,00	18,00	36,00	24,00	24,00	48,00	40,00	10,00	80,00
216,00	216,00	432,00	288,00	288,00	576,00	480,00	480,00	960,00

pour chaque employé gagnant de 15.000 à 25.000 francs, qu'il soit assuré ou non.

Dans les villes de plus de 200.000 habitants et dans les circonscriptions industrielles qui seront fixées par décret, la cinquième catégorie comprendra tous les salariés gagnant moins de 60 francs par jour ou 18.000 francs par an.

## III. — Tableau indiquant les Retraites du Régime transitoire.

Après un versement de : On obtient une retraite de :	PREMIÈRE CATÉGORIE	DEUXIÈME CATÉGORIE	TROISIÈME CATÉGORIE	QUATRIÈME CATÉGORIE	CINQUIÈME CATÉGORIE
5 ans.....	600	600	600	600	720
6 ans.....	600	600	600	600	864
7 ans.....	600	600	600	672	1.008
8 ans.....	600	600	600	768	1.152
9 ans.....	600	600	648	864	1.296
10 ans.....	600	600	720	960	1.440
11 ans.....	600	600	792	1.056	1.584
12 ans.....	600	600	864	1.152	1.728
13 ans.....	600	624	936	1.248	1.872
14 ans.....	600	672	1.008	1.344	2.016
15 ans.....	600	720	1.080	1.440	2.160
20 ans.....	600	960	1.440	1.840	2.880
25 ans.....	600	1.200	1.800	2.300	3.600
30 ans.....	1.220	1.440	2.160	2.880	4.320

Les pensions de vieillesse sont majorées de 1/10 pour les assurés ayant élevé 3 enfants jusqu'à l'âge de 16 ans.

## IV. — Risques de Répartition.

RISQUES	LOI DU 5 AVRIL 1928
1. — <i>Maladie</i> :	
A) Prestations en argent..	1 <sup>re</sup> catégorie, 3 francs par jour ; 2 <sup>e</sup> catégorie, 6 francs par jour ; 3 <sup>e</sup> catégorie, 9 francs par jour ; 4 <sup>e</sup> catégorie, 12 francs par jour ; 5 <sup>e</sup> catégorie, 18 francs par jour à partir du sixième jour, pendant une période maximum de six mois (s'il y a arrêt momentané du travail et pendant les jours ouvrables). Charges de famille : 1 franc par enfant et par jour.



RISQUES	LOI DU 5 AVRIL 1928
B) Prestations en nature..	Tous les frais de médecine générale et spéciale, dans la limite du tarif établi en tenant compte du tarif syndical des médecins, et avec participation de 15 à 20 0/0 de la part de l'assuré ; les frais pharmaceutiques et d'appareils, les frais d'hospitalisation et de traitement dans un établissement de cure et les frais d'interventions chirurgicales, mais avec une participation de 15 0/0 de la part de l'assuré.
C) Assurance de la femme de l'assuré ou du mari de l'assurée et des enfants 2. — <i>Maternité</i> :	Tous les frais dans les mêmes conditions que ci-dessus.
A) Prestations en argent..	Six semaines avant, six semaines après l'accouchement ; même allocation qu'en cas de maladie. 1 franc par enfant et par jour.
B) Prestations en nature..	Tous les soins dans les mêmes conditions qu'au cas de maladie.
C) Assurance des femmes d'assurés.....	Tous les soins dans les mêmes conditions qu'au cas de maladie.
D) Primes d'allaitement...	Pour l'assurée qui allaite elle-même : 150 francs par mois pendant les quatre premiers mois ; 100 francs pendant le cinquième et le sixième, et 50 francs du septième au neuvième. Bons de lait si l'assurée est dans l'impossibilité physique d'allaiter.
3. — <i>Décès</i> .....	Versement d'un capital égal à 20 0/0 du salaire moyen de la catégorie à laquelle appartient l'assuré ; minimum garanti : 1.000 francs. Majoration de 100 francs par enfant. Pensions d'orphelins à partir du troisième enfant pour les veuves des assurés : 120 francs au minimum. Pensions d'orphelins pour tous les enfants orphelins de père et de mère : 120 fr. au minimum. Pendant cinq ans mêmes soins qu'au 1° B).
4. — <i>Soins aux invalides</i>	
5. — <i>Prestations en nature du conjoint et aux enfants de l'invalidé</i> .....	Rien quand l'invalidé n'est pas salarié. S'il est salarié, mêmes avantages qu'au 1° C).
6. — <i>Assurance des retraités salariés ou non</i> .....	Les salariés retraités peuvent s'assurer contre la maladie par un versement de 15 francs par mois, l'Etat versant 6 fr. pour compléter la cotisation.

RISQUES	LOI DU 5 AVRIL 1928
7. — <i>Droits des chômeurs aux assurances sociales.</i>	L'assurance se substitue au chômeur pour le paiement de la double cotisation aux assurances de façon à le maintenir, lui et sa famille, dans tous leurs droits au bénéfice des assurances maladie, maternité, vieillesse, etc... pendant quatre mois.

## V. — Risques de Capitalisation.

RISQUES	LOI DU 5 AVRIL 1928
1. — <i>Invalidité.</i>	<p>A. — A l'expiration du délai de six mois prévu pour la maladie, l'assuré atteint d'une affection réduisant des 2/3 sa capacité de travail a droit, à titre provisoire pendant cinq ans, ensuite à titre définitif, à une pension d'invalidité.</p> <p>Deux catégories d'assurés : a) assurés immatriculés avant 30 ans ; b) assurés immatriculés à 30 ans et plus.</p> <p>a) assurés immatriculés avant 30 ans ; pension de première catégorie, 720 francs ; deuxième catégorie, 1.440 francs ; troisième catégorie, 2.160 francs ; quatrième catégorie, 2.880 francs ; cinquième catégorie, 4.320 francs.</p> <p>b) assurés immatriculés à 30 ans et plus : pension réduite de 1/30 par année d'âge comprise entre 30 ans et l'âge à l'entrée dans l'assurance de l'assuré.</p> <p>Pour les assurés âgés de 30 ans et plus au moment de leur immatriculation, ayant cotisé six ans, cette pension ne sera pas inférieure à 1.000 francs.</p> <p>B. — Majoration de 100 francs par enfant à la charge de l'assuré.</p> <p>C. — Pension supprimée si la capacité de travail devient supérieure à 50 0/0.</p>
2. — <i>Vieillesse.</i>	<p>Au bout de 30 ans de versements, pension de : première catégorie, 720 francs ; deuxième catégorie, 1.440 francs ; troisième catégorie, 2.160 francs ; quatrième catégorie, 2.880 francs ; cinquième catégorie, 4.320 francs. Pendant la période transitoire la pension est égale à autant de trentièmes de la pension normale que l'assuré a effectué d'années de versements sans que le chiffre minimum puisse être inférieur à 600 francs après cinq ans de cotisations.</p>

## CHAPITRE V

## DE LA DURÉE DU TRAVAIL

**Lois du 23 avril 1919, art. 6 du livre II du Code du travail.**

Dans les établissements industriels et commerciaux ou dans leurs dépendances, de quelque nature qu'ils soient, publics ou privés, laïques ou religieux, même s'ils ont un caractère d'enseignement professionnel ou de bienfaisance, la durée du travail effectif des ouvriers ou employés de l'un ou de l'autre sexe et de tout âge ne peut excéder soit huit heures par jour, soit quarante-huit heures par semaine, soit une limitation équivalente établie sur une période de temps autre que la semaine.

Des règlements d'administration publique déterminent par profession, par industrie, par commerce ou par catégorie professionnelle les délais et conditions d'application de la loi (Voir 2<sup>e</sup> partie).

## CHAPITRE VI

## DU REPOS HEBDOMADAIRE ET DES JOURS FÉRIÉS

**Extrait du livre II du Code du travail.**

**ART. 30.** — Les dispositions de la présente section s'appliquent aux employés ou ouvriers occupés dans un établissement industriel ou commercial ou dans ses dépendances, de quelque nature qu'il soit, public ou privé, laïque ou religieux, même s'il a un caractère d'enseignement professionnel ou de bienfaisance. — Toutefois, ces dispositions ne sont pas applicables aux ouvriers et employés des entreprises de transport par eau, non plus qu'à ceux des chemins de fer, dont les repos sont réglés par des dispositions spéciales.

**ART. 31.** — Il est interdit d'occuper plus de six jours par semaine un même employé ou ouvrier.

**ART. 32.** — Le repos hebdomadaire doit avoir une durée minimum de vingt-quatre heures consécutives.

**ART. 33.** — Le repos hebdomadaire doit être donné le dimanche.

**ART. 34.** — Toutefois, lorsqu'il est établi que le repos simultané, le dimanche, de tout le personnel d'un établissement serait préjudiciable au public ou compromettrait le fonctionnement normal de cet établissement, le repos peut être donné, soit constamment, soit à certaines époques de l'année seulement, ou bien : *a*) un autre jour que le dimanche à tout le personnel de l'établissement; — *b*) du dimanche midi au lundi midi; — *c*) le dimanche après-midi avec un repos



compensateur d'une journée par roulement et par quinzaine ; — d) par roulement à tout ou partie du personnel. — Des autorisations nécessaires doivent être demandées et obtenues conformément aux prescriptions des articles ci-après.

ART. 35. — Lorsqu'un établissement quelconque veut bénéficier de l'une des exceptions prévues à l'article précédent, il est tenu d'adresser une demande au préfet du département. Celui-ci doit demander d'urgence les avis du conseil municipal, de la chambre de commerce de la région et des syndicats patronaux et ouvriers intéressés de la commune. Ces avis doivent être donnés dans le délai d'un mois. Le préfet statue ensuite par un arrêté motivé qu'il notifie dans la huitaine.

ART. 36. — L'autorisation accordée à un établissement doit être étendue aux établissements de la même ville faisant le même genre d'affaires et s'adressant à la même clientèle.

ART. 37. — L'arrêté préfectoral peut être déféré au Conseil d'État, dans la quinzaine de sa notification aux intéressés. Le Conseil d'État statue dans le mois qui suit la date du recours, qui est suspensif.

## CHAPITRE VII

### HYGIÈNE ET SÉCURITÉ DES TRAVAILLEURS

(Extrait du décret du 10 juillet 1913.)

*Cabinets d'aisances.* — Ils seront nettoyés au moins une fois par jour. Ils seront convenablement éclairés. Ils seront aménagés de manière à ne dégager aucune odeur. Ils ne communiqueront pas avec les locaux fermés où le personnel est appelé à séjourner. Il y aura un cabinet pour cinquante personnes et des urinoirs en nombre suffisant.

*Vestiaires avec lavabos.* — Les chefs d'établissements doivent mettre à la disposition de leur personnel les moyens d'assurer la propreté individuelle, vestiaires avec lavabos.

*Aération.* — L'atmosphère des ateliers doit être tenue constamment à l'abri de toute émanation provenant d'égouts, fosses, puisards, fosses d'aisances ou de toute autre source d'infection.

Les locaux fermés affectés au travail seront largement aérés. Ils seront munis de fenêtres ou autres ouvertures à châssis mobiles donnant directement sur le dehors. L'aération doit être suffisante pour empêcher une élévation exagérée de température.

Pendant les interruptions de travail, l'air des locaux doit être entièrement renouvelé.

*Eclairage.* — Les locaux affectés au travail, leurs dépendances, les passages, les escaliers doivent être convenablement éclairés.

*Chauffage.* — En hiver, les locaux doivent être convenablement chauffés.

*Repas. — Boissons.* — Les ouvriers et employés ne peuvent prendre leurs repas dans les locaux affectés au travail qu'en cas de besoin et après enquête par l'inspecteur divisionnaire sous les justifications suivantes :

Que les opérations effectuées ne comportent point l'emploi de substances toxiques ;

Qu'elles ne donnent lieu à aucun dégagement de gaz incommodes, insalubres ou toxiques, ni de poussières ;

Que les autres conditions d'hygiène soient satisfaisantes.

Un règlement intérieur doit limiter les quantités de vin, de bière, de cidre, de poiré, d'hydromel non additionnées d'alcool qui peuvent être introduites et détermine les heures et conditions auxquelles la consommation reste autorisée.

*Propreté.* — Les établissements doivent être tenus dans un état constant de propreté.

*Machines.* — Les machines, mécanismes, appareils de transmission, outils et engins doivent être installés et tenus dans les meilleures conditions possibles de sécurité. Les pièces mobiles des machines et transmissions doivent être munies d'un dispositif protecteur ou séparées des ouvriers, à moins qu'elles ne soient hors de portée de la main.

Il en est de même des courroies ou câbles traversant le sol d'un atelier ou fonctionnant sur des poulies de transmission placées à moins de 2 mètres du sol.

Le maniement à la main des courroies en marche doit être évité par des appareils adaptés aux machines ou mis à la disposition du personnel.

## CHAPITRE VIII

### EMPLOI DES OUVRIERS ÉTRANGERS

La loi du 11 août 1926 concernant l'emploi des ouvriers étrangers a pour objet d'assurer la production du marché du travail national. (Articles 64, 64 a, 64 b, 64 c, article 98 et article 172 du livre II du Code du travail.)

Il est interdit à toute personne d'employer un étranger non muni de la carte d'identité d'étranger et portant la mention travailleur.

L'étranger embauché ne peut être occupé dans une autre profession que celle indiquée sur la carte d'identité à moins qu'une année ne se soit écoulée depuis la délivrance de cette carte ou qu'il ne soit porteur d'un certificat délivré par un office public de placement.

Il est interdit à tout employeur d'embaucher un travailleur étranger introduit en France avant l'expiration du contrat du travail en

vertu duquel il a été introduit, à moins que le travailleur ne soit porteur d'un certificat du précédent employeur attestant que le contrat de travail a été résilié, qu'une année ne se soit écoulée depuis l'introduction du travailleur, à moins que le travailleur ne soit porteur d'une carte de présentation délivrée par un officier public de placement.

Tout employeur de travailleurs étrangers doit les inscrire sur un registre spécial paginé, comprenant les indications suivantes :

- 1° Date d'entrée dans l'établissement ;
- 2° Date de sortie de l'établissement ;
- 3° Noms et prénoms des travailleurs étrangers
- 4° Nationalité ;
- 5° Lieu et date de naissance ;
- 6° Préfecture qui a délivré la carte ;
- 7° Numéro d'ordre de la carte ;
- 8° Année de délivrance de la carte ;
- 9° Profession inscrite sur la carte ;
- 10° Profession actuelle ;
- 11° Instructions spéciales.

L'employeur qui a contrevenu aux dispositions ci-dessus peut être puni d'une amende de 500 à 1.000 francs pour chaque infraction constatée. Pour la tenue du registre, il peut être puni d'une amende de 5 à 15 francs.

*Recrutement des ouvriers étrangers.* — L'Union des Industries métallurgiques et minières rappelle à ses adhérents que son *Service de recrutement de main-d'œuvre étrangère* est à leur entière disposition pour leur procurer, par recrutement direct, les *ouvriers spécialistes et manœuvres, polonais, tchécoslovaques, yougo-slaves, hongrois*, dont ils ont besoin et s'emploie, en outre, sur leur désir, à faire aboutir dans les meilleures conditions possibles les demandes d'ouvriers d'autres nationalités qui lui sont adressées.

L'Union fournit à ses adhérents tous renseignements, tous imprimés qui leur sont nécessaires pour l'établissement de leurs demandes de main-d'œuvre étrangère.

*Conditions d'introduction et d'emploi des ouvriers étrangers.* — *Visa.* — L'introduction des ouvriers étrangers est soumise au visa préalable du ministère du Travail. Ce visa n'est donné que sur avis favorable de l'Office régional de placement du lieu où les travailleurs doivent être employés.

Pour les demandes qui lui sont adressées, l'Union se charge d'obtenir le visa du ministère du Travail, mais ces demandes doivent lui parvenir, munies par les soins de l'employeur, de l'avis favorable de l'Office régional de placement.

*Salaire.* — Le visa du ministère du Travail n'est accordé que lorsque les salaires portés sur la demande correspondent à ceux



alloués aux ouvriers français de même catégorie, travaillant dans l'établissement.

*Débauchage d'ouvriers étrangers.* — Le fait, par un employeur, d'employer un ouvrier étranger, introduit aux frais d'un premier employeur et avant que son contrat de travail ne soit expiré, peut donner lieu, de la part des tribunaux, à une allocation de dommages-intérêts au profit du premier employeur (Amiens, 19 avril 1923).

L'employeur conserve, en même temps, son action en dommages-intérêts contre l'ouvrier étranger pour rupture du contrat de travail.

*Emploi des ouvriers étrangers recrutés individuellement.* — L'article 64 du Code du travail interdit à toute personne d'employer sciemment un étranger non muni du certificat d'immatriculation exigé par la loi du 8 août 1893, interdiction sanctionnée de peines de simple police par l'article 172.

En outre, le décret du 6 juin 1922 oblige les employeurs qui embauchent un ouvrier étranger à s'assurer que celui-ci n'a pas contrevenu aux dispositions qu'il édicte. Ces dispositions sont les suivantes :

Tout travailleur étranger doit, dans les huit jours de son arrivée, signaler sa présence au commissaire de police ou, à défaut, au maire de sa résidence afin d'obtenir, par son intermédiaire, la délivrance d'une carte d'identité dont la création est prévue par le décret.

L'ouvrier qui change de résidence doit, dans les deux jours de son arrivée au lieu de sa nouvelle localité, faire viser sa carte d'identité par le commissaire de police ou, à défaut, par le maire de sa commune.

Le décret du 6 juin 1922 prévoit, du reste, que le préfet pourra refuser la délivrance de la carte d'identité, si le travailleur étranger n'est pas muni d'un titre d'embauchage reconnu valable dans les conditions prévues par les instructions des ministres du Travail et de l'Agriculture, ou s'ils ont fait l'objet d'une enquête défavorable.

Si l'ouvrier a été introduit au moyen d'un contrat, sa carte porte la mention de l'entreprise introductrice, ainsi que la durée pour laquelle l'ouvrier a été primitivement introduit. Lors donc qu'un ouvrier est embauché par un patron, celui-ci doit vérifier que l'ouvrier n'est pas en rupture de contrat. S'il l'était, il faudrait s'assurer que cet ouvrier possède un certificat d'un premier employeur le libérant de tout engagement pour l'exécution des travaux pour lesquels il avait été introduit.

*Traités de travail.* — Un certain nombre de traités de travail, passés entre la France et d'autres pays, réglementent le recrutement de la main-d'œuvre dans ces pays, et assurent aux ouvriers ainsi recrutés le bénéfice de mesures de protection.

## CHAPITRE IX

## RELATIONS AVEC L'INSPECTION DU TRAVAIL

## REGISTRES

- 1° Registre d'inscription des enfants de moins de dix-huit ans ;
- 2° Registre destiné à l'inscription des mises en demeure ou des observations faites par l'inspecteur du travail ;
- 3° Registre indiquant la composition nominative des équipes.
- 4° Registre d'inscription des ouvriers étrangers travaillant à l'entreprise (article 64 c du livre II du Code du travail).

## AFFICHES

- 1° Loi de 1898 sur les accidents dont les ouvriers sont victimes dans leur travail ;
- 2° Décret du 28 décembre 1909 sur les charges qui peuvent être trainées, portées ou poussées par les enfants et les femmes ;
- 3° Décret du 21 mars 1914 sur les travaux dangereux pour les enfants et les femmes ;
- 4° Noms et adresses des inspecteurs divisionnaire et départemental du travail ;
- 5° Horaire du travail ;
- 6° Tableau d'envoi à l'inspecteur du travail des avis de dérogations ;
- 7° Tableau indiquant le personnel auquel s'appliquent les dérogations permanentes ;
- 8° Affiches indiquant le jour de repos hebdomadaire ou la fraction de jour lorsque ce repos est donné collectivement à tout ou partie du personnel ;
- 9° Avis indiquant la capacité en mètres cubes de chaque local de travail ;
- 10° Consigné pour le cas d'incendie.

## DOCUMENTS A ENVOYER A L'INSPECTEUR DU TRAVAIL

- 1° Duplicata de l'horaire-affiche ;
- 2° Demande de récupération d'heures perdues par suite de chômage collectif ;
- 3° Tableau des dérogations permanentes ;
- 4° Avis de récupération d'heures perdues par suite d'accidents, de cas de force majeure : accidents au matériel, interruption de force motrice, sinistres, etc. ;
- 5° Consignés en cas d'incendie ;
- 6° Liste des chantiers temporaires occupant au moins dix ouvriers pendant plus d'une semaine.

## CHAPITRE X

## MÉDAILLES DU TRAVAIL

Le ministre du Commerce décerne deux fois par an, à l'occasion du 1<sup>er</sup> janvier et du 14 juillet, des médailles d'honneur : la médaille trentenaire et la médaille cinquantenaire dans les conditions suivantes :

I. — *La médaille trentenaire* d'argent (décret du 16 juillet 1896).

1<sup>o</sup> Aux ouvriers ou employés français qui comptent plus de trente années de services consécutifs dans le même établissement industriel ou commercial français situé en France ou à l'étranger ou qui, ayant trente années de services, justifient n'avoir pu accomplir ces trente années dans le même établissement pour une cause de force majeure absolument indépendante de leur volonté ;

2<sup>o</sup> Aux ouvriers occupés dans les établissements d'enseignement technique publics ou privés situés en France dans les palais nationaux, dans les manufactures de l'État, dans les établissements départementaux ou communaux ; aux employés des chantiers de communes et des œuvres utiles aux communes et à l'industrie reconnues comme établissement d'utilité publique ;

3<sup>o</sup> Aux ouvriers ou employés français ou indigènes non naturalisés comptant plus de vingt ans de services consécutifs dans un même établissement industriel ou commercial situé en Algérie ou dans les colonies françaises ;

4<sup>o</sup> Aux ouvriers qui auront rendu des services exceptionnels à l'industrie, notamment par l'invention de nouveaux procédés de fabrication, sans condition de *durée de services* et sur l'avis du Comité consultatif des Arts et Manufactures.

Les candidats doivent en outre, aux termes d'une circulaire du 24 février 1913, avoir satisfait aux prescriptions de la loi du 5 avril 1910 sur les retraites ouvrières et paysannes.

Les demandes sont adressées directement à M. le ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, pour les candidats domiciliés dans le département de la Seine, et par l'intermédiaire des préfets, pour ceux qui résident dans les autres départements.

Il est indispensable d'adresser une *demande distincte pour chaque candidat* ; cette demande doit être accompagnée d'un extrait du casier judiciaire du candidat et d'un certificat légalisé du patron.

Les demandes doivent être formulées sur papier timbré et indiquer les noms, prénoms, date et lieu de naissance, profession et domicile des candidats, la nature de leurs services, la date exacte de l'entrée dans la maison ainsi que les nom, profession et adresse du patron pour lequel ils travaillent ou pour lequel ils ont travaillé.



Le temps passé sous les drapeaux n'est pas considéré comme une interruption de service; il entre en ligne de compte à la condition qu'il soit postérieur à l'entrée dans un établissement industriel ou commercial (Chambre des députés, séance du 10 novembre 1897). Mais il n'est pas possible d'ajouter aux services civils les services militaires lorsque ceux-ci ont précédé l'entrée dans l'établissement.

Dans les demandes de médailles pour services exceptionnels, il devra être donné une indication détaillée de ces services (décret du 12 février 1895, art. 2).

II. — *La médaille cinquantenaire*, en vermeil (décret du 18 octobre 1913).

Elle est décernée, en observant les mêmes formalités, aux ouvriers ou employés français comptant au moins cinquante années de services consécutifs dans le même établissement et déjà titulaires de la médaille d'argent. Les demandes formulées dans ce but devront rappeler la date exacte de l'obtention de la médaille trentenaire en argent.

## DEUXIÈME PARTIE. — LÉGISLATION SPÉCIALE

## DURÉE DU TRAVAIL

(Décret du 9 août 1920, modifié le 2 avril 1926.)

ART. 1<sup>er</sup>. — Les dispositions du présent décret sont applicables dans tous les établissements ou parties d'établissements où s'exercent les industries ci-après énumérées : Métallurgie ; — Hauts fourneaux, aciéries ; — Fonderies de cuivre, plomb, zinc, nickel, aluminium, antimoine, étain, argent, or, platine, bronze, maillechort, laiton, ferro-alliages et autres alliages ; — Electro-métallurgie et électrochimie ; — Laminoirs, forges, étirage, emboutissage, estampage des métaux, taillanderie, tréfilerie ; — Fabriques de quincaillerie, tôlerie, boulonnerie, serrurerie, coutellerie et de tous objets en fer et en acier ; — Découpage, décolletage de tous métaux ; — Polissage et repoussage de tous métaux ; — Fonderies de deuxième fusion ; — Construction de navires, de bateaux en fer et en acier, de machines marines ; — Construction mécanique et métallique, chaudronnerie, soudure autogène ; — Construction automobile ; — Construction aéronautique ; — Construction de matériel roulant de voies ferrées ; — Construction, montage de matériel et d'appareils électriques ; — Fabriques de tous instruments de précision, d'optique, de chirurgie, d'appareils orthopédiques ; — Fabriques de tous appareils et articles en fer-blanc, cuivre, plomb, zinc, nickel, aluminium, antimoine, étain, maillechort, laiton, ferro-alliages et autres alliages ; — Traitement des résidus métalliques. Les dispositions du présent décret sont également applicables aux ouvriers et employés occupés par les établissements où s'exercent les industries ci-dessus énumérées, même dans le cas où leurs professions ne ressortissent pas à ces industries, lorsque le travail de ces ouvriers et employés a pour objet exclusif l'entretien ou le fonctionnement desdits établissements et de leurs dépendances. — Les dispositions du présent décret sont également applicables au personnel des stations centrales (force, lumière, eau, gaz, air comprimé) annexé et appartenant aux établissements de forge et serrurerie occupant moins de cinq ouvriers ne sont pas visés par les dispositions du présent décret.

ART. 2. — Les établissements ou parties d'établissement visés à l'article 1<sup>er</sup> devront, pour l'application de la loi du 23 avril 1919, choisir l'un des modes ci-après ; 1<sup>o</sup> Limitation du travail effectif à raison de

huit heures par chaque jour ouvrable de la semaine ; — 2° Répartition inégale entre les jours ouvrables des quarante-huit heures de travail effectif de la semaine, avec maximum de neuf heures par jour, afin de permettre le repos de l'après-midi du samedi ou toute autre modalité équivalente. En cas d'organisation du travail par équipes successives, le travail de chaque équipe sera continu, sauf l'interruption pour les repos. L'organisation du travail par relais est interdite. Toutefois elle pourra être autorisée par arrêté ministériel, après consultation des organisations patronales et ouvrières intéressées, dans les industries ou les fabrications où cette organisation sera justifiée par des raisons techniques. — A la demande d'organisations patronales ou ouvrières de la profession, de la localité ou de la région, des arrêtés ministériels pourront, après consultation de toutes les organisations intéressées, et en se référant là où il en existe aux accords intervenus entre elles, autoriser, par dérogation aux régimes visés aux 1° et 2° du premier alinéa et à titre provisoire, un régime équivalent basé sur une autre période de temps à la condition que la durée du travail ne dépasse pas dix heures, ou remplacer le repos de l'après-midi du samedi par un repos d'une demi-journée un autre jour de la semaine. Ledit régime ne pourra être établi à titre définitif que par voie de règlement d'administration publique. — Si des organisations patronales ou ouvrières de la profession, dans une localité ou dans une région, demandent qu'il soit fixé un régime uniforme de répartition du travail pour tous les établissements de la profession dans la localité ou dans la région, il sera statué sur la demande, par décret portant règlement d'administration publique après consultation de toutes les organisations intéressées et en se référant aux accords intervenus entre elles s'il en existe.

ART. 3. — En cas d'interruption collective du travail résultant de causes accidentelles ou de force majeure (accidents survenus au matériel, interruption de force motrice, sinistres), une prolongation de la journée de travail pourra être pratiquée à titre de récupération des heures de travail perdues dans les conditions ci-après :

a) En cas d'interruption d'une journée au plus, la récupération pourra s'effectuer dans un délai maximum de quinze jours à dater du jour de la reprise du travail ; — b) En cas d'interruption d'une semaine au plus, la récupération pourra s'effectuer dans un délai maximum de cinquante jours à dater du jour de la reprise du travail ; — c) En cas d'interruption excédant une semaine, la récupération ne pourra s'effectuer au delà de la limite indiquée à l'alinéa précédent sans autorisation écrite de l'inspecteur départemental du travail, donnée après consultation des organisations patronales et ouvrières intéressées. — En cas d'interruption collective de travail un autre jour que celui du repos hebdomadaire, en raison des jours fériés légaux, inventaires, fêtes locales ou autres événements locaux,



la récupération des heures de travail perdues pourra être autorisée par l'inspecteur départemental du travail après consultation des organisations patronales et ouvrières intéressées. — Dans les ateliers et chantiers de constructions navales, et de constructions métalliques où les intempéries provoquent des chômages, la récupération des heures perdues pour cette cause pourra être autorisée par l'inspecteur départemental du travail après consultation des organisations patronales et ouvrières intéressées. — La récupération des heures de travail perdues par suite des mortes-saisons dans l'industrie de la construction et de la réparation des machines agricoles pourra être autorisée par l'inspecteur départemental du travail jusqu'à concurrence de cent heures par an, après consultation des organisations patronales et ouvrières intéressées. — La faculté de récupération prévue aux deux alinéas précédents pourra être étendue, à titre provisoire, par arrêtés ministériels, à d'autres industries soumises à des intempéries ou à des mortes-saisons, lorsqu'un accord sera intervenu à ce sujet entre les organisations patronales et ouvrières intéressées. Ledit régime ne pourra être établi à titre définitif que par voie de règlement d'administration publique. — L'augmentation exceptionnelle prévue à titre de récupération ne peut avoir en aucun cas pour effet de porter la durée journalière du travail à plus de dix heures. — Dans les établissements où le régime hebdomadaire du travail comporte un repos d'une demi-journée par semaine, soit le samedi, soit tout autre jour de la semaine, comme il est prévu au paragraphe 4 de l'article 2, la récupération pourra se faire par suspension de ce repos d'une demi-journée. — Le chef d'établissement qui veut faire usage des facultés de récupération prévues dans le présent article doit, soit dans l'avis, soit dans la demande d'autorisation qu'il devra adresser à l'inspecteur départemental du travail, indiquer la nature, la cause et la date de l'interruption collective de travail, le nombre d'heures de travail perdues, les modifications qu'il se propose d'apporter temporairement à l'horaire en vue de récupérer les heures perdues ainsi que le nombre de personnes auxquelles s'applique cette modification.

ART. 4. — Dans chaque établissement ou partie d'établissement, les ouvriers et employés ne pourront être occupés que conformément aux indications d'un horaire précisant pour chaque journée et éventuellement pour chaque semaine, ou pour toute autre période de temps dans le cas d'application du paragraphe 3 de l'article 2, la répartition des heures de travail. — Cet horaire, établi suivant l'heure légale, fixera les heures auxquelles commencera et finira chaque période de travail, et en dehors desquelles aucun ouvrier ou employé ne pourra être occupé, ainsi que la durée des repos. Le total des heures comprises dans les périodes de travail ne devra pas excéder les limites fixées par l'article 2. — Des heures différentes de travail et

de repos pourront être prévues pour les catégories de travailleur auxquelles s'appliquent des dérogations prévues par l'article 5. — Cet horaire daté et signé par le chef d'entreprise ou sous la responsabilité de celui-ci par la personne à laquelle il aura délégué ses pouvoirs à cet effet sera affiché en caractères lisibles et apposé de façon apparente dans chacun des lieux de travail auxquels il s'applique. — Un double de l'horaire et des rectifications qui y seraient apportées éventuellement devra être préalablement adressé à l'inspecteur départemental du travail. — En cas d'organisation du travail par équipes, la composition nominative de chaque équipe sera indiquée soit par un tableau affiché, soit par un registre spécial tenu constamment à jour et mis à la disposition du service de l'Inspection du travail.

ART. 5. — La durée du travail effectif journalier peut, pour les travaux désignés au tableau ci-dessous et conformément à ses indications, être prolongée au delà des limites fixées pour le travail de l'ensemble de l'établissement :

1° Travail des ouvriers spécialement employés à la conduite des fours, fourneaux, étuves, sécheries, ou chaudières autres que les générateurs pour machines motrices, à la préparation des bains de décapage, au chauffage des cuves et bacs, sous la condition que ce travail ait un caractère purement préparatoire ou complémentaire et ne constitue pas un travail fondamental de l'établissement.

Travail des mécaniciens, des électriciens, des chauffeurs employés au service de la force motrice, de l'éclairage, du chauffage et du matériel de levage ;

2° Dans les fonderies de deuxième fusion, sous la condition que le travail ait, comme il est dit à l'alinéa précédent, un caractère purement préparatoire ou complémentaire ;

a) Démoulage des pièces le soir de la coulée ou le lendemain matin, quand ce travail est indispensable pour libérer le matériel nécessaire à la reprise du moulage ou pour obtenir la réussite d'une pièce ;

b) Remoulage des pièces pour la coulée du jour quand techniquement il a été impossible de le faire la veille,

Une heure et demie au maximum.

Deux heures le lendemain de chaque journée de chômage.

Une heure au maximum.

3° Travail des ouvriers employés d'une façon courante ou exceptionnelle pendant l'arrêt de la production à l'entretien et au nettoyage des machines, fours, métiers et tous autres appareils que la connexité des travaux ne permettrait pas de mettre isolément au repos pendant la marche générale de l'établissement;

4° Travail d'un chef d'équipe ou d'un ouvrier spécialiste dont la présence est indispensable à la marche d'un atelier ou au fonctionnement d'une équipe dans le cas d'absence inattendue de son remplaçant et en attendant l'arrivée d'un autre remplaçant;

5° Travail d'un chef d'équipe ou d'un ouvrier spécialiste dont la présence est indispensable pour coordonner le travail de deux équipes qui se succèdent;

6° Travail des ouvriers spécialement employés, soit au service des fours, soit au service du mouvement et de la traction, soit à d'autres travaux, quand le service ou les travaux doivent rester continus pendant plus d'une semaine;

7° Travail des ouvriers spécialement employés soit à des opérations de métallurgie (1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> fusions, forgeage, laminage des métaux et opérations connexes), soit à d'autres opérations qui, techniquement, ne peuvent être arrêtées à volonté lorsque les unes et les autres n'ont pu être terminées dans les délais réglementaires par suite de leur nature ou de circonstances exceptionnelles;

8° Travail des ouvriers de deuxième fusion spécialement affectés au service de l'allumage des appareils de fusion les jours de coulée;

9° Travail du personnel de maîtrise et des chefs d'équipe pour la préparation des travaux exécutés par l'établissement;

10° Travail du personnel de maîtrise des chefs d'équipe et des ouvriers affectés spécialement aux études, aux essais, à la

Une heure au maximum avec faculté de faire travailler ces ouvriers dix heures les jours de chômage normal de l'établissement et les veilles desdits jours.

Durée de l'absence du remplaçant.

Une demi-heure au maximum.

Faculté illimitée le jour où s'opère le décalage destiné à permettre l'alternance des équipes, cette alternance ne pouvant avoir lieu qu'à une semaine d'intervalle au moins.

Deux heures au maximum; pour la métallurgie six heures la veille de tout jour de chômage.

Deux heures au maximum.

Deux heures au maximum.

Deux heures au maximum.



mise au point de nouveaux types et à la réception de tous appareils ;

11° Dans l'industrie de la soudure autogène, travail des ouvriers préposés au service des appareils à acétylène ;

12° Travail du personnel occupé aux travaux de chargement et de déchargement des wagons ou bateaux dans le cas où la dérogation serait nécessaire et suffisante pour permettre l'achèvement desdits travaux dans les délais de rigueur ;

13° Travail des surveillants, gardiens, personnel d'aéroplanes, aiguilleurs, personnel occupé au service des chemins de fer dans les établissements ne travaillant pas de façon continue, conducteurs d'automobile, charretiers, livreurs, magasiniers, service d'incendie, basculeurs, préposés au pesage des wagons, camions et voitures.

Préposés au service médical et autres institutions créées en faveur des ouvriers et employés de l'établissement et de leurs familles ;

14° Pointeurs, garçons de bureau et agents similaires ;

15° Personnel affecté au nettoyage des locaux.

Une heure par jour.

Deux heures au maximum.

Quatre heures au maximum sans que l'usage de cette dérogation puisse avoir pour effet de réduire à moins de douze heures la durée du repos ininterrompu entre deux journées de travail.

Une heure au maximum.

Pour les spécialistes travaillant dans les usines à feu continu et appartenant aux catégories énumérées dans le décret du 31 août 1910, ainsi que pour le personnel des stations centrales, visées à l'avant-dernier alinéa de l'article 1<sup>er</sup> du présent décret, la durée hebdomadaire moyenne du travail sera de cinquante-six heures. — Les ouvriers spécialement affectés, dans les services énumérés audit décret du 31 août 1910, aux travaux d'entretien des appareils seront assimilés, pour l'application du présent décret, aux spécialistes de ces services. — Les dérogations énumérées dans le présent article sont applicables exclusivement aux hommes adultes, à l'exception de celles visées sous les n<sup>os</sup> 4, 5, 9, 10, 13, 14 et 15 du premier alinéa, qui sont applicables au personnel adulte de l'un et l'autre sexe.

ART. 6. — La durée du travail effectif peut être, à titre temporaire, prolongée au delà des limites fixées par l'article 2 du présent décret, dans les conditions

1° Travaux urgents dont l'exécution immédiate est nécessaire pour prévenir des accidents imminents, organiser des mesures de sauvetage ou réparer des accidents survenus soit au matériel, soit aux installations, soit aux bâtiments de l'établissement, soit aux navires en partance dans un délai de quarante-huit heures ;

2° Travaux exécutés dans l'intérêt de la sûreté et de la défense nationales ou d'un service public sur un ordre du Gouvernement constatant la nécessité de la dérogation ;

3° Travaux urgents auxquels l'établissement doit faire face (surcroît extraordinaire de travail).

Faculté illimitée pendant un jour au choix de l'industriel ; les jours suivants, deux heures au delà de la limite assignée au travail général de l'établissement.

Limite à fixer dans chaque cas de concert entre le ministère du Travail et le ministère qui ordonne les travaux.

Maximum : cent heures par an.

Toutefois, l'inspecteur départemental du travail pourra, après consultation des organisations patronales et ouvrières intéressées, autoriser des heures supplémentaires dont le nombre total ne pourra excéder quarante par an, en compensation des heures perdues par suite de chômage collectif résultant de l'observation des fêtes locales ou autres événements locaux consacrés par l'usage.

Pour les années 1926 et 1927, les établissements de serrurerie, forge et charronnage ne comptant pas plus de cinq ouvriers et établis dans des communes comptant moins de 5.000 habitants bénéficieront, en outre, d'un crédit exceptionnel de cinquante heures supplémentaires.

En aucun cas, la durée du travail journalier ne pourra dépasser dix heures.

ART. 7. — Le bénéfice des dérogations permanentes est acquis de plein droit aux chefs d'établissement, sous réserve d'accomplissement des formalités prévues à l'article 4 du présent décret. Tout chef d'établissement qui veut user des facultés prévues à l'article 6 du présent décret sera tenu d'adresser préalablement à l'inspecteur départemen-

tal du travail une déclaration datée spécifiant la nature et la cause de la dérogation, le nombre d'ouvriers (enfants, femmes, hommes) pour lesquels la durée du travail sera prolongée, les heures de travail et de repos prévues pour ces ouvriers, la durée évaluée en jours et en heures de la dérogation. — Le chef d'établissement doit, en outre, tenir à jour un tableau sur lequel seront inscrites, au fur et à mesure de l'envoi des avis à l'inspecteur du travail, les dates des jours où il sera fait usage des dérogations, avec indication de la durée de ces dérogations. Ce tableau sera affiché dans l'établissement, dans les conditions déterminées à l'article 4 du présent décret au sujet de l'horaire, et il y restera apposé du 1<sup>er</sup> janvier de l'année courante au 15 janvier de l'année suivante.

ART. 8. — Les heures de travail effectuées par application des dérogations prévues au 3<sup>e</sup> de l'article 6 du présent décret sont considérées comme heures supplémentaires et payées conformément aux usages en vigueur pour les heures de travail effectuées en dehors de la durée normale.

ART. 9. — Les dispositions du présent règlement s'appliqueront à l'ensemble du territoire français et entreront en vigueur quinze jours après sa publication au *Journal officiel*.

## TRAVAIL DE NUIT

(Extrait du livre II du Code du Travail),

ART. 21. — Les enfants, ouvriers ou apprentis âgés de moins de dix-huit ans et les femmes ne peuvent être employés à aucun travail de nuit dans les usines, manufactures, chantiers, ateliers et leurs dépendances.

ART. 22. — Tout travail entre vingt-deux heures et cinq heures est considéré comme travail de nuit.\*

ART. 23. — Le repos de nuit des enfants de l'un ou l'autre sexe et des femmes doit avoir une durée de onze heures consécutives au minimum.

ART. 24. — Il est accordé à certaines industries déterminées par un règlement d'administration publique et dans lesquelles le travail s'applique soit à des matières premières, soit à des matières en élaboration qui seraient susceptibles d'altération très rapide lorsque cela est nécessaire pour sauver ces matières d'une perte inévitable, l'autorisation de déroger temporairement sur le simple préavis dans les conditions précisées par ledit règlement aux dispositions des articles 21 et 22 en ce qui concerne les femmes majeures. — Il pourra être dérogé de même, sur s



qui concerne les enfants du sexe masculin âgés de seize à dix-huit ans en vue de prévenir des accidents imminents ou de réparer des accidents prévenus.

ART. 25. — En outre, en cas de chômage résultant d'une interruption accidentelle ou de force majeure ne présentant pas un caractère périodique, le chef d'établissement peut, dans n'importe quelle industrie et dans la limite du nombre de journées perdues, déroger aux dispositions des articles 21 et 22 en ce qui concerne les enfants âgés de seize ans au moins et les femmes majeures en avisant préalablement l'inspecteur dans les conditions précisées par un règlement d'administration publique. Toutefois le chef d'établissement ne peut faire usage de cette dérogation plus de quinze nuits par an sans autorisation de l'inspecteur.

ART. 26. — Dans les usines à feu continu les enfants du sexe masculin âgés de plus de seize ans peuvent être employés la nuit aux travaux indispensables, etc.

ART. 27. — Dans les usines à feu continu, les enfants du sexe masculin âgés de plus de seize ans peuvent être employés la nuit aux travaux indispensables. — Les travaux tolérés et le laps de temps pendant lequel ils peuvent être exécutés sont déterminés par le décret du 30 juin 1913 (art. 3). — Dans les fabriques d'objets en fer et fonte émaillés, les enfants sont autorisés à travailler la nuit pour manœuvrer à distance les portes des fours. Dans les usines métallurgiques, les enfants sont autorisés à travailler la nuit pour aider à la préparation des lits de fusion, aux travaux accessoires d'affinage, de laminage, de martelage et de tréfilage, de préparation des moules pour objet de fonte moulée, de rangement des paquets, des feuilles, des tubes et des fils. — Si les enfants sont employés toute la nuit, leur travail doit être coupé par des intervalles de repos représentant un total au moins égal à deux heures. — La durée du travail effectif ne peut d'ailleurs dépasser, dans les vingt-quatre heures, dix heures pour les femmes et les enfants.

## REPOS DES SPÉCIALISTES DANS LES USINES A FEU CONTINU

(Décret du 31 août 1910.)

ART. 1<sup>er</sup>. — Le repos des employés ou ouvriers spécialistes travaillant dans les usines à feu continu et appartenant aux catégories énumérées ci-après peut être organisé dans les conditions prévues par les articles 2 et 3 du présent décret.

1<sup>o</sup> *Hauts fourneaux et appareils connexes.* — Surveillants et contre-maitres préposés à la surveillance des hauts fourneaux, fondeurs, chefs

d'équipes, chargeurs au gueulard ou rouleurs au gueulard, chargeurs du bas, fondeurs, dégrasseurs, granuleurs, gaziers du fourneau, chauffeurs et alimenteurs des chaudières chauffées au gaz de hauts fourneaux. — Personnel de l'épuration des gaz. — Machinistes des souffleries et des monte-charges. — Fondeurs des cubilots de déphosphoration et de désulfuration.

2° *Mélangeurs de fonte.* — Personnel de surveillance et de conduite.

3° *Fours à feu continu pour la fabrication de l'acier sur sole.* — Surveillants et contremaîtres préposés à la marche des appareils. — Chargeurs, fondeurs, gaziers, couleurs et dégrasseurs. — Machinistes du service de coulée, préposés à la manœuvre des lingotières dans les fosses, démouleurs.

4° *Pitts et fours à réchauffer les lingots d'acier.* — Surveillants préposés à la marche des appareils et chauffeurs.

5° *Fours divers de cémentation et fours continus pour la fabrication de l'acier au creuset.* — Surveillants préposés à la marche des appareils et chauffeurs.

6° *Fours à coke.* — Surveillants préposés à la marche des appareils, enfourneurs, régaleurs, pilonneurs, régleurs aux brûleurs et aux barilletts. — Personnel de la récupération des sous-produits. — Machinistes des moteurs annexes.

7° *Gazogènes et fours à récupération autres que les fours à coke.* — Personnel de conduite lorsque cette conduite ne comporte pas le travail simultané de plus de deux ouvriers par équipe.

8° *Usines à gaz.* — Chauffeurs de cornues, lorsqu'il n'y a pas plus de deux ouvriers, par poste, employés à la production du gaz.

9° *Fours à zinc.* — Surveillants préposés à la marche des appareils. — Ouvriers employés au chargement et au déchargement des cornues ou creusets, mélangeurs de minerais et approvisionnement de charbon.

10° *Fours à cuve pour la métallurgie du plomb ou du cuivre.* — Surveillants et contremaîtres préposés à la marche des appareils. — Personnel affecté à la conduite des fours, lorsque cette conduite ne comporte pas le travail simultané de plus de six ouvriers par équipe.

11° *Fours d'affinage du cuivre et de concentration des mattes.* — Deux fondeurs des fours d'affinage et de concentration. — Deux fondeurs et deux ouvriers des lits de fusion des fours à cuivre.

12° *Fours rotatifs continus pour frittage des minerais ou fabrication des ciments.* — Surveillants préposés à la marche des appareils et cuiseurs.

13° *Autres fours pour calcination ou grillage de minerais.* — Surveillants préposés à la marche des appareils.

14° *Fabriques de glaces.* — Personnel chargé d'assurer le chauffage et la conduite des fours, la coulée et le découpage.

15° *Fours à feu continu de l'industrie céramique.* — Surveillants préposés à la marche des appareils et cuiseurs.

16° *Fabriques de produits chimiques.* — Personnel affecté aux chambres ou autres appareils continus pour la fabrication de l'acide sulfurique. — Personnel chargé de la conduite des appareils continus de concentration, d'oxydation, de calcination, de décomposition, d'absorption et de condensation, lorsque cette conduite ne comporte pas le travail simultané de plus de deux hommes par équipe. — Mécanicien principal chargé des services généraux de distribution de force motrice ou d'une distribution d'air comprimé.

17° *Fabriques de papier et de carton possédant moins de trois machines.* — Conducteurs de défibreurs, gouverneurs de cylindre raffineur, chefs de coloration, mélangeurs, conducteurs des machines à papier et sècheurs.

18° *Fabrications électrométallurgiques.* — Surveillants et contre-maitres préposés à la marche des appareils.

ART. 2. — Dans les usines où le travail est organisé par alternance de deux équipes, chacun des employés ou ouvriers énumérés à l'article précédent doit avoir un repos périodique de vingt-quatre heures consécutives au moins toutes les deux semaines ou de dix-huit heures consécutives au moins chaque semaine au moment du changement de poste, il doit jouir, en outre, de vingt-six jours de repos compensateur par an. — Dans les usines où le travail est organisé sans alternance des équipes, le nombre des jours de repos, auxquels ont droit les employés ou ouvriers classés comme spécialistes par l'article 1<sup>er</sup>, peut être réduit à vingt-six jours par an, si ces spécialistes ne travaillent qu'entre cinq heures du matin et neuf heures du soir et pendant une durée qui n'excède pas dix heures par vingt-quatre heures. — Dans le cas où, par suite de circonstances exceptionnelles, un ouvrier n'aurait pas intégralement bénéficié pendant une année des vingt-six jours de repos que lui réservent les deux paragraphes précédents, le chef d'établissement, directeur ou gérant, devrait lui en fournir le complément avant le 1<sup>er</sup> mars de l'année suivante, sans préjudice des repos dus pour la nouvelle année. — Pour les employés ou ouvriers qui entrent en service au cours de l'année, le nombre de jours de repos est calculé au prorata du nombre de semaines de présence.

ART. 3. — Dans les usines à feu continu qui fonctionnent par postes de huit heures à l'aide de trois équipes et où l'alternance comporte chaque semaine deux postes consécutifs dont chacun n'excède pas douze heures, le repos hebdomadaire de chacun des ouvriers de ces équipes peut n'être que de vingt heures par semaine, pendant deux semaines consécutives, à condition qu'il atteigne vingt-quatre heures la semaine suivante.

ART. 4. — Dans toutes les usines qui utilisent les dérogations prévues par le présent article, le directeur ou gérant



rant, est tenu d'inscrire sur un registre coté et paraphé les noms des employés et ouvriers admis à ces dérogations, ainsi que les catégories professionnelles auxquelles ils appartiennent. — Pour chacun d'eux, le registre fait connaître les jours et heures de repos périodiques prévus par les articles 2 et 3 et, dans le cas de l'article 2, les dates des jours de repos prévus par les paragraphes 1 et 2 dudit article, avant que ce repos ne soit accordé ou dès que l'absence de l'ouvrier a pu être constatée. — Ce registre doit être tenu à la disposition des ouvriers ; il est visé par l'inspecteur du travail au cours de ses visites.

ART. 5. — Le présent décret entrera en vigueur dans un délai de trois mois à dater de sa publication. — Par mesure transitoire, le repos compensateur prévu à l'art. 2, paragraphe 1<sup>er</sup>, pourra être réduit à quinze jours pendant la première année d'application et à vingt jours pendant l'année suivante. — Jusqu'à l'expiration d'un délai de dix ans à compter de la publication du présent décret, le nombre de journées de repos compensateur accordé aux spécialistes visés au 15<sup>e</sup> de l'article 1<sup>er</sup> pourra être réduit à quinze jours par an dans les usines ne comportant pas plus de deux fours continus.

ART. 6. — Les dispositions du présent décret ne s'appliquent pas au personnel protégé par la loi du 2 novembre 1892 sur le travail des enfants, des filles mineures et des femmes dans les établissements industriels.

## HYGIÈNE DES TRAVAILLEURS

*(Extrait du Décret du 10 juillet 1913.)*

ART. 3. — Les ouvriers appelés à travailler dans les puits, conduites de gaz, canaux de fumée, cuves ou appareils quelconques pouvant contenir des gaz délétères doivent être attachés par une ceinture de sûreté ou par un autre dispositif.

ART. 10. — Les moteurs ne seront accessibles qu'aux ouvriers affectés à leur surveillance. — Les passages entre les machines, mécanismes; outils mus par ces moteurs auront une largeur d'au moins 80 centimètres ; le sol des intervalles sera nivelé. — Les cuves, bassins, réservoirs de liquides corrosifs ou chauds seront pourvus de solides barrières ou garde-corps.

ART. 11. — Les monte-charges, ascenseurs, élévateurs, seront guidés et disposés de manière que la fermeture du puits à l'entrée des divers étages ou galeries s'effectue automatiquement. — Ils seront disposés de manière que la voie de la cage du monte-charge et des contrepoids soit fermée et que rien ne puisse tomber du monte-charge dans le puits. — Pour les monte-charges destinés à transporter le personnel, la charge devra être calculée au tiers de la charge

admise pour le transport des marchandises. Les monte-charges visés par le paragraphe précédent seront pourvus de freins, chapeaux, parachutes ou autres appareils préservateurs. Les appareils de levage porteront l'indication du maximum de poids qu'ils peuvent soulever.

ART. 13. — La mise en train et l'arrêt des machines devront toujours être précédés d'un signal convenu.

ART. 14. — L'appareil d'arrêt des machines motrices sera toujours placé sous la main des conducteurs qui dirigent ces machines et en dehors de la zone dangereuse. — Les contremaîtres ou chefs d'ateliers, les conducteurs de machines-outils, métiers, auront à leur portée le moyen de demander l'arrêt des moteurs. — Chaque machine-outil, métier sera en outre installé et entretenu de manière à pouvoir être isolé par son conducteur de la commande qui l'actionne.

ART. 15. — Des dispositifs de sûreté devront être installés dans la mesure du possible pour le nettoyage et le graissage des transmissions et mécanismes en marche. — En cas de réparation d'un organe mécanique quelconque, son arrêt devra être assuré par un calage convenable de l'embrayage ou du volant; il en sera de même pour les opérations de nettoyage qu'exige l'arrêt des organes mécaniques.

## SÉCURITÉ DES TRAVAILLEURS SUR LES VOIES FERRÉES DES ÉTABLISSEMENTS VISÉS PAR L'ARTICLE 65 DU LIVRE II DU CODE DU TRAVAIL.

(Décret du 4 décembre 1915.)

ART. 1<sup>er</sup>. — Dans les établissements où il est fait usage de voies ferrées pour le transport des matières destinées à être mises en œuvre ou des marchandises, les chefs d'établissement, directeurs ou gérants sont tenus, indépendamment des mesures générales prescrites par le décret du 10 juillet 1913, de prendre les mesures particulières de protection énoncées aux articles suivants.

### I. — Voies ferrées exploitées au moyen de locomotives à vapeur ou autres tracteurs mécaniques automoteurs.

ART. 2. — Lorsque deux voies sont adjacentes, la largeur de l'entrevoie doit être telle qu'entre les parties les plus saillantes de deux véhicules circulant sur ces voies, il y ait un intervalle libre d'au moins 70 centimètres. La largeur de l'intervalle libre peut être réduite à 50 centimètres, quand les voies adjacentes servent exclusivement au garage du matériel roulant.

ART. 3. — Lors

établie le long d'un mur ou de tout autre obstacle fixe et continu, il doit être ménagé un intervalle libre d'au moins 70 centimètres entre cet obstacle et les parties les plus saillantes du matériel roulant. — Un intervalle libre d'au moins 50 centimètres doit être ménagé entre les obstacles isolés, tels que piliers des portes, poteaux, etc., et les parties les plus saillantes du matériel roulant. — Les dispositions des paragraphes qui précèdent ne sont toutefois applicables ni aux quais de chargement ou de déchargement, ni aux dépôts de combustibles ou de tout autre matière, établis d'une manière permanente et limités par des clôtures fixes.

ART. 4. — Tout dépôt provisoire de matières ou de marchandises quelconques, effectué à proximité des voies, doit être placé de telle manière qu'il subsiste entre les parties les plus saillantes du matériel roulant et ce dépôt un intervalle libre d'au moins 70 centimètres.

ART. 5. — Tout véhicule stationnant sur une voie à proximité d'un point de croisement ou de raccordement doit être protégé par des signaux, si l'intervalle libre entre les saillies extrêmes de ce véhicule et celles du matériel roulant circulant sur l'autre voie est inférieure à 70 centimètres.

ART. 6. — Les leviers des aiguilles doivent être disposés de telle manière que l'intervalle demeurant libre entre l'ouvrier ou l'employé chargé de les manœuvrer et les saillies extrêmes du matériel roulant soit au moins de 70 centimètres.

ART. 7. — Pour la détermination des intervalles libres mentionnés aux articles 2, 3, 4, 5 et 6 du présent décret, les distances sont mesurées horizontalement et en tenant compte des chargements placés sur les véhicules.

ART. 8. — Les tiges des aiguilles, les fils de signaux et tous autres appareils formant saillie sur le sol doivent être protégés par une enveloppe rigide ou peints de telle sorte qu'ils soient parfaitement visibles.

ART. 9. — Toute machine ou toute rame de wagons, circulant la nuit, doit porter à l'avant un fanal allumé.

ART. 10. — Un signal d'arrêt ou de ralentissement doit être placé en avant de toutes les parties de voies sur lesquelles la circulation du matériel est interdite ou n'est autorisée qu'à allure réduite.

ART. 11. — Lorsque des travaux ou des opérations quelconques doivent être effectués sur les voies ou dans leur voisinage immédiat, toutes les dispositions utiles doivent être prises pour garantir la sécurité du personnel chargé de ces travaux ou opérations ; un ouvrier ou employé doit, dans tous les cas, être spécialement désigné pour prévenir le personnel de l'approche des trains et veiller aux signaux faits par les agents conduisant ces trains ; un signal de protection est, en outre, établi, si les dispositions locales l'exigent.

ART. 12. — Tout train ou toute partie de train, refoulé par une



machine, doit être précédé d'un pilote chargé de faire les signaux nécessaires, tant aux mécaniciens qu'aux personnes pouvant se trouver sur la voie.

ART. 13. — Lorsque l'organisation du travail comporte la traversée habituelle des voies, à des heures et en des points déterminés, par des ouvriers ou employés circulant en groupe, notamment à l'entrée ou à la sortie des ateliers ou magasins, les mesures nécessaires doivent être prises pour que le passage des trains soit interrompu en ces points au moment utile.

ART. 14. — Lorsque des wagons ou rames de wagons stationnent sur une voie, toutes les dispositions utiles doivent être prises pour qu'ils ne puissent se mettre en marche accidentellement; les freins, s'il en existe, doivent être serrés.

ART. 15. — Les dispositions des articles 4, 10 et 11 ne sont pas applicables aux parties des voies placées à l'intérieur des ateliers, magasins ou bâtiments quelconques. — Le règlement prévu par l'article 20 du présent décret fixe les mesures particulières de protection applicables à ces parties de voies.

II. — *Voies ferrées sur lesquelles les manœuvres se font à bras d'homme, par traction animale ou au moyen de cabestans ou d'engins de levage automoteurs.*

ART. 16. — L'établissement et l'usage des voies faisant l'objet du présent titre sont soumis aux dispositions des articles 6 et 14 qui précèdent.

ART. 17. — Les chefs d'établissement, directeurs ou préposés sont tenus de veiller à ce que, dans les manœuvres au cabestan : — a) Aucun ouvrier ou employé ne se trouve placé entre le cabestan et le véhicule en mouvement; — b) Aucun obstacle ne gêne le passage de la chaîne ou du câble de traction; — c) L'accrochage et le décrochage de la chaîne ou du câble ne soient effectués que lorsque le véhicule est arrêté; — d) Le cabestan ne soit mis en mouvement qu'après que l'agent chargé de sa manœuvre s'est concerté, à cet effet, avec l'agent préposé à la manœuvre de la chaîne ou du câble.

ART. 18. — Les chefs d'établissement, directeurs ou préposés sont également tenus de veiller à ce que les véhicules circulant sur les voies soient toujours accompagnés par des ouvriers ou employés en nombre suffisant pour que l'arrêt puisse être obtenu aussi rapidement que la nécessité l'exigerait.

ART. 19. — Lorsque les dimensions du véhicule ou de son chargement ne permettent pas aux ouvriers ou employés qui le manœuvrent de surveiller efficacement la voie, en avant de ce véhicule, un ouvrier ou employé doit être spécialement chargé de précéder le véhicule, de donner à l'IRIS - ILLIAD - Université Lille 1 les indications

nécessaires à la sécurité, et de prévenir toute personne pouvant se trouver sur la partie de voie à parcourir ou dans ses abords immédiats.

### III. — Dispositions générales.

ART. 20. — Les chefs d'établissement, directeurs ou gérants, sont tenus de faire apposer dans un endroit apparent des locaux de travail : — 1° Le texte du présent décret ; — 2° Un règlement prescrivant les mesures prévues au deuxième alinéa de l'article 15 ci-dessus et imposant au personnel de l'établissement l'observation des prescriptions ci-après spécifiées : — *a*) Il est interdit de passer entre les véhicules d'un train ou d'une rame en marche, et de s'introduire entre deux véhicules pour les décrocher avant leur arrêt complet. — Aucune manœuvre d'accrochage ne doit être effectuée que lorsqu'un des deux véhicules à accoupler est complètement arrêté ; l'agent chargé de l'opération doit se placer entre les deux véhicules lorsqu'ils sont encore distants l'un de l'autre de 3 mètres au moins ; le mouvement de refoulement nécessaire pour assurer l'accrochage doit être effectué avec précaution ; il doit être arrêté aussitôt après l'accrochage, afin de permettre à l'agent préposé à la manœuvre de se dégager. Il est interdit d'accoupler des véhicules au moyen d'appareils autres que ceux qui sont spécialement destinés à cet usage ; — *b*) Il est interdit de traverser la voie devant un véhicule ou une machine en mouvement ; — *c*) Il est interdit de monter sur les tampons ou sur les attelages d'un véhicule ou d'une machine en mouvement ; — *d*) Aucune machine ne doit être mise en marche avant qu'un avertissement ait été donné par l'agent chargé de sa conduite ; — *e*) Les ouvriers ou employés qui travaillent sur les voies ou dans leur voisinage immédiats doivent veiller aux signaux faits par les agents conduisant les trains ainsi qu'aux indications données par l'agent spécialement désigné ainsi qu'il est dit à l'article 11 : ils sont tenus de s'y conformer ; — *f*) La vitesse de marche des trains remorqués par des locomotives à vapeur ou par tout autre tracteur mécanique automoteur ne peut dépasser 10 kilomètres à l'heure, excepté sur les voies affectées aux essais de machines ; cette vitesse doit toujours être telle que le train puisse être arrêté dans la partie de voie libre visible pour l'agent chargé de la conduite du train ; — *g*) La vitesse des véhicules manœuvrés à bras d'homme, par traction animale, ou au moyen de cabestans ou d'engins de levage automoteurs ne peut dépasser 6 kilomètres à l'heure.

ART. 21. — Le délai minimum prévu à l'article 69 du livre II du Code du travail et de la prévoyance sociale pour l'exécution des mises en demeure est fixé à quatre jours pour toutes les mises en demeure fondées sur le présent décret. Toutefois, ce délai minimum sera

porté à un mois, lorsque l'exécution de ces mises en demeure comportera la création d'installations nouvelles et non pas seulement l'utilisation d'installations existantes.

ART. 22. — Le délai d'exécution des travaux de transformation qu'implique le présent règlement sera de six mois à partir d'une date qui sera fixée par arrêté du ministre du Travail. — Toutefois, le ministre du Travail et de la Prévoyance sociale peut, par arrêté pris sur le rapport des inspecteurs du travail, et après avis du comité consultatif des arts et manufactures, accorder dispense, pour un délai de cinq ans, de tout ou partie des prescriptions du présent décret aux établissements existant avant sa publication, lorsque la sécurité du personnel est assurée dans des conditions satisfaisantes et que l'application immédiate de ces prescriptions présenterait des difficultés exceptionnelles. — Ce délai peut être prorogé dans les mêmes conditions. — En aucun cas, il ne peut être prescrit de démolir, pour l'exécution du présent décret, une construction existant avant sa publication.

### EMPLOI DES ENFANTS ET DES FEMMES DANS LA MÉTALLURGIE

*(Extrait du Décret du 21 mars 1914.)*

A. — Il est interdit d'employer les enfants âgés de moins de dix-huit ans et les femmes :

1° Au graissage, au nettoyage, à la visite ou à la réparation des machines du mécanisme en marche ;

2° Dans des locaux où se trouvent des machines actionnées à la main ou par un moteur mécanique, dont les parties dangereuses ne sont point couvertes de couvre-engrenages, garde-mains et autres organes protecteurs.

B. — Les enfants âgés de moins de seize ans ne peuvent être employés au travail des cisailles et autres lames tranchantes mécaniques.

C. — Il est interdit de préposer les enfants âgés de moins de seize ans au service des robinets à vapeur.

D. — Il est interdit d'employer les enfants âgés de moins de seize ans en qualité de doubleurs dans les ateliers où s'opèrent le laminage et l'étrépage de la verge de tréfilerie.

Cette disposition n'est toutefois pas applicable aux ateliers dans lesquels le travail des doubleurs est garanti par des appareils protecteurs.



**Travaux interdits aux enfants âgés de moins de dix-huit ans et aux femmes.**

*Fonte et laminage du plomb.* — Maladies dues aux émanations.  
*Aiguillage et polissage des métaux.* — Poussières dangereuses.

**Travaux autorisés aux enfants âgés de moins de dix-huit ans et aux femmes sous certaines conditions.**

*Émail sur métaux.* — Les enfants âgés de moins de dix-huit ans et les femmes ne seront pas employés dans les ateliers où l'on broie et blute les matières à cause des émanations nuisibles.

*Décrochage du fer et galvanisation du fer.* — Les enfants âgés de moins de dix-huit ans et les femmes ne seront pas employés dans les ateliers où se dégagent des vapeurs et où l'on manipule des acides à cause des vapeurs nuisibles.

*Fonderie de 2<sup>e</sup> fusion du fer, du zinc, du cuivre.* — *Hauts fourneaux.* — Les enfants âgés de moins de seize ans ne seront pas employés à la coulée du métal à cause du danger de brûlures.

**ÉTABLISSEMENTS INSALUBRES, DANGEREUX  
OU INCOMMODES**

**Établissements insalubres.** — Les établissements insalubres sont répartis en trois classes, dont la nomenclature est annexée au décret établissant les conditions dans lesquelles ces établissements peuvent être autorisés.

**FORMALITÉS D'INSTRUCTION.** — 1<sup>re</sup> classe. — Demande d'autorisation adressée au préfet sur papier timbré de 2 francs.

A Paris, la demande est adressée au préfet de police.

La demande doit désigner :

La situation de l'usine, la nature de l'industrie, les mesures prévues pour atténuer les dégagements de gaz nuisibles, etc.

Deux plans, à l'échelle de 25 millimètres par mètre, représentant les terrains avoisinant l'usine, dans un rayon de 500 mètres, accompagnent la demande.

Ce plan est certifié par le maire de la commune.

Le préfet procède à une enquête de un mois dans toutes les communes situées dans un rayon de 5 kilomètres. Il prend l'avis du Conseil d'hygiène. La demande est affichée pendant toute la durée de l'enquête.

Les oppositions sont soumises au Conseil de préfecture.

L'autorisation est accordée ou refusée par arrêté préfectoral.

2<sup>e</sup> classe. — Demande adressée comme ci-dessus. Plan dans un rayon de 100 mètres seulement. Enquête de huit jours. L'avis du Conseil d'hygiène est nécessaire comme dans le cas de la première classe. La demande est affichée pendant la durée de l'enquête.

3<sup>e</sup> classe. — Demande au préfet. Il n'est pas demandé de plan, sauf à Paris. Il n'y a ni affichage ni enquête. Le maire donne son avis et le préfet statue.

La fabrication du coke en *plein air*, les grands entrepôts de *pétrole*, la fabrication des *explosifs*, des *allumettes*, le grillage des *minerais pyriteux contenant de l'arsenic*, sont de *première classe*.

A la *deuxième classe* appartiennent les *ateliers de construction* de machines à vapeur, *hauts fourneaux*, *tréfileries*, *chaudronneries* ainsi que le grillage des *minerais pyriteux non arsenicaux*, pourvu qu'il soit prévu des *appareils suffisants* pour la *condensation* des gaz nuisibles.

La *fabrication de l'acier*, les *fonderies de cuivre*, de *laiton*, les *fonderies de deuxième fusion*, sont des établissements insalubres de *troisième catégorie*.

CONTRAVENTIONS. — L'autorisation d'installer un établissement insalubre peut être *révoquée*. Les conseils de préfecture sont incompétents pour prononcer la *suppression*. Elle ne peut être décidée pour la première classe qu'en *Conseil d'État*. Les indemnités qui peuvent être dues de ce chef sont fixées par les *tribunaux civils*.

Les contraventions peuvent être relevées par les *tiers intéressés* ou par le *ministère public*. Elles sont jugées par le tribunal de *simple police*.

Si la contravention consiste dans l'emploi d'un *appareil non autorisé*, la *suppression* de l'autorisation peut être prononcée d'office.

DOMMAGES-INTÉRÊTS. — Les demandes en dommages-intérêts sont portées devant les *tribunaux civils*.

## PARTIE COMMERCIALE

### Liste, par spécialités, des principaux fournisseurs de la Métallurgie.

(Voir les annonces aux pages indiquées.)

Pages.

#### Accessoires pour chaudières et machines à vapeur.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE SCHAEFFER ET BUDENBERG, 126, boul. Richard-Lenoir, Paris-XI<sup>e</sup>. Téléph. Roquette 56-65..... 7

#### Accessoires pour laboratoires.

VERRERIE DE SAINT-FONS, 8 et 10, rue des Écoles, à Saint-Fons (Rhône)..... 9

#### Aciers.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique)..... 6

#### Aciéries (Matériel pour).

SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique)..... 2

#### Alliages.

NICHROMIC, 41, rue des Bas, Asnières (Seine)..... 11

#### Aluminium.

SOCIÉTÉ DU DURALUMIN, 23 bis, rue de Balzac, Paris-VIII<sup>e</sup>..... 3

#### Amiante.

SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES RHÔNE-POULENC, 21, rue Jean-Goujon, Paris-VIII<sup>e</sup>..... 5

#### Analyses des minerais, métaux, alliages, etc.

CAMPREDON (L.), 119, rue Ville-ès-Martin, à St-Nazaire (Loire-Inf.) 8

#### Appareils de levage et de manutention.

ANCIENNE MAISON GALLE. — R. BENOIT, 84, rue Oberkampf, Paris-XI<sup>e</sup>..... 1

DALBOUZE-BRACHET ET C<sup>ie</sup>, 11, rue Francis-de-Pressensé (ex-r. du Château), à Puteaux (Seine)..... 7

SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique)..... 2

#### Automobiles.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES AUTOMOBILES MORRIS-LÉON-BOLLÉE, 131, avenue Malakoff, Paris-XVI<sup>e</sup>..... garde III



**Baguette à braser.**

SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUDRES A SOUDER J. LAFFITTE, 102, av. Parmentier, Paris-XI <sup>e</sup> .....	garde 11
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2

**Basculeurs automatiques.**

SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
---	---

**Bâtiments industriels.**

DOUCE ET MOULIN, 64, rue Petit, Paris-XIX <sup>e</sup> .....	1
ENTREPRISE LARBANET, 54, rue Carnot, à Suresnes (Seine).....	6
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2

**Bennes.**

SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
---	---

**Brasures.**

SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUDRES A SOUDER J. LAFFITTE, 102, av. Parmentier, Paris-XI <sup>e</sup> .....	garde 11
---	----------

**Broyeurs et concasseurs.**

DALBOUZE-BRACHET ET C <sup>ie</sup> , 11, rue Francis-de-Pressensé (ex-r. du Château), à Puteaux (Seine).....	7
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2

**Câbles électriques.**

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, à Belfort (Territoire de). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII)...	12
--	----

**Chaînes.**

ANCIENNE MAISON GALLE. — R. Benoît, 24, rue Oberkampf, Paris-XI <sup>e</sup> .....	garde 1
MARCEL SEBIN ET C <sup>ie</sup> , chaînes, 79, rue d'Angoulême, Paris-XI <sup>e</sup> ...	9

**Charpentes en fer.**

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2

**Chaudières.**

ENTREPRISE LARBANET, 54, rue Carnot, à Suresnes (Seine).....	6
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, à Belfort (Territoire de). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII <sup>e</sup> ). 12	12

SOCIÉTÉ FRANÇAISE SCHAEFFER ET BUDENBERG, 126, boul. Richard-Lenoir, Paris-XI <sup>e</sup> . Téléph. Roquette 56-65 .....	7
<b>Chaudronnerie.</b>	
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
SOCIÉTÉ FRANÇAISE SCHAEFFER ET BUDENBERG, 126, boul. Richard-Lenoir, Paris-XI <sup>e</sup> . Téléph. Roquette 56-65.....	7
<b>Cheminée d'usines.</b>	
ENTREPRISE LARBANET, 54, rue Carnot, à Suresnes (Seine).....	6
<b>Chemins de fer portatifs et leurs accessoires.</b>	
SOCIÉTÉ DU DURALUMIN, 23 bis, rue de Balzac, Paris-VIII <sup>e</sup> .....	3
<b>Chimistes-essayeurs.</b>	
CAMPREDON (L.), 119, rue Ville-ès-Martin, à St-Nazaire (Loire-Inf.).	4
<b>Chimistes-métallurgistes.</b>	
CAMPREDON (L.), 119, rue Ville-ès-Martin, à St-Nazaire (Loire-Inf.).	8
NICHROMIC, 41, rue des Bas, Asnières (Seine).....	11
<b>Compresseurs d'air.</b>	
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, à Mulhouse (Haut-Rhin). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII <sup>e</sup> )...	12
<b>Conduites d'eau.</b>	
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
<b>Connecteurs.</b>	
FAURIS (Charles), 81, rue d'Inkermann, Lyon (Rhône).....	4
<b>Constructions électriques.</b>	
FAURIS (Charles), 81, rue d'Inkermann, Lyon (Rhône).....	4
<b>Constructions métalliques.</b>	
DALBOUZE-BRACHET ET C <sup>ie</sup> , 11, rue Francis-de-Pressensé (ex-r. du Château), à Puteaux (Seine).....	7
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
SOCIÉTÉ DU DURALUMIN, 23 bis, rue de Balzac, Paris-VIII <sup>e</sup> .....	3
<b>Cornues.</b>	
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2

Pages.

**Creusets et mouffes.**

NICHROMIC, 41, rue des Bas, Asnières (Seine)..... 11

**Cribles.**DALBOUZE-BRACHET ET C<sup>ie</sup>, 11, rue Francis-de-Pressensé (ex-r. du Château), à Puteaux (Seine)..... 7

SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique)..... 2

**Crics.**SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, à Graffenstaden (Bas-Rhin). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII<sup>e</sup>). 12**Cubilots.**

SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique)..... 2

**Cylindres de laminoirs.**

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique)..... 6

**Défourneuses.**ANCIENNE MAISON GALLE. — R. BENOIT, 84, rue Oberkampf, Paris-XI<sup>e</sup>..... garde 1

SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique)..... 2

**Échantillonnages des minerais, combustibles, etc.**DALBOUZE-BRACHET ET C<sup>ie</sup>, 11, rue Francis-de-Pressensé (ex-r. du Château), à Puteaux (Seine)..... 7

CAMPREDON (L.), 119, rue Villé-ès-Martin, à St-Nazaire (Loire-Inf.). 8

**Écoles spéciales.**ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL ET DE NAVIGATION, 152, avenue Wagram, Paris-XVII<sup>e</sup>..... couvert. 1**Électricité (Matériel électrique).**

CIMENT ISOLANT « VANTHOM », L. VANTHOMME-DESFONTAINE, à Bousbecque (Nord) (Voir « Coup de Feu »)..... garde IV

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, à Belfort (Territoire de). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII<sup>e</sup>). 12

SOCIÉTÉ ANONYME DES ÉTABLISSEMENTS ARMAND BEAUMARTIN, 33, rue Saint-Genès, à Bordeaux (Gironde)..... couvert. 2

**Électro-métallurgie.**

CIMENT ISOLANT « VANTHOM », L. VANTHOMME-DESFONTAINE, à Bousbecque (Nord) (Voir « Coup de Feu »)..... garde IV



**Élévateurs.**

ANCIENNE MAISON GALLE. — R. BENOIT, 84, rue Oberkampf, Paris-XI <sup>e</sup> .....	garde 1
DALBOUZE-BRACHET ET C <sup>ie</sup> , 11, rue Francis-de-Pressensé (ex-r. du Château), à Puteaux (Seine).....	7
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique) .....	6
MARCEL SEBIN ET C <sup>ie</sup> chaines, 79, rue d'Angoulême, Paris-XI <sup>e</sup> .....	9
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique) .....	2

**Fabrique de ressorts.**

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
---	---

**Forges et hauts fourneaux (Matériel pour).**

CIMENT ISOLANT « VANTHOM », L. VANTHOMME-DESFONTAINE, à Bousbecque (Nord) (Voir « Coup de Feu ») .....	garde IV
DALBOUZE-BRACHET ET C <sup>ie</sup> , 11, rue Francis-de-Pressensé (ex-r. du Château), à Puteaux (Seine).....	7
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2

**Fours à coke.**

ENTREPRISE LARBANET, 54, rue Carnot, à Suresnes (Seine) .....	6
---	---

**Fours à gazogènes.**

ENTREPRISE LARBANET, 54, rue Carnot, à Suresnes (Seine) .....	6
---	---

**Fournitures générales pour usines.**

CIMENT ISOLANT « VANTHOM », L. VANTHOMME-DESFONTAINE, à Bousbecque (Nord) (Voir « Coup de Feu ») .....	garde IV
MORIN H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII <sup>e</sup> .....	garde 1

**Fours métallurgiques.**

CIMENT ISOLANT « VANTHOM », L. VANTHOMME-DESFONTAINE, à Bousbecque (Nord) (Voir « Coup de Feu ») .....	garde IV
ENTREPRISE LARBANET, 54, rue Carnot, à Suresnes (Seine) .....	6

**Fumisterie industrielle.**

ENTREPRISE LARBANET, 54, rue Carnot, à Suresnes (Seine) .....	6
---	---

**Gazogènes.**

SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
---	---

**Grues.**

ANCIENNE MAISON GALLE. — R. BENOIT, 84, rue Oberkampf, Paris-XI <sup>e</sup> .....	garde 1
--	---------

Pages.

SOCIÉTÉ ANONYMÉ DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
<b>Ingénieurs.</b>	
ÉCOLE DU GÉNIE CIVIL ET DE NAVIGATION, 152, avenue Wagram, Paris-XVII <sup>e</sup> .....	couvert. 1
<b>Instruments de dessin.</b>	
DARNAY (F.), 1, rue Coypel, Paris-XIII <sup>e</sup> .....	garde I
MORIN (H.), 11 rue Dulong, Paris-XVII <sup>e</sup> .....	garde I
<b>Laboratoires métallurgiques (Fournitures pour).</b>	
DALBOUZE-BRACHET ET C <sup>ie</sup> , 11, rue Francis-de-Pressensé (ex-r. du Château), à Puteaux (Seine) .....	7
SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES RHONE-POULENC, 21, rue Jean-Goujon, Paris-VIII <sup>e</sup> .....	1.
<b>Laminoirs (Matériel pour).</b>	
CIMENT ISOLANT « VANTHOM », L. VANTHOMME-DESFONTAINE, à Bousbecque (Nord) (Voir « Coup de Feu ») .....	garde IV
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
<b>Locomotives.</b>	
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, à Belfort (Territoire de) et Graffenstaden (Bas-Rhin). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII <sup>e</sup> ) .....	12
<b>Machines à vapeur.</b>	
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, usines à Belfort, Mulhouse (Haut-Rhin), et Graffenstaden (Bas-Rhin). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII <sup>e</sup> ) .....	12
SOCIÉTÉ FRANÇAISE SCHAEFFER ET BUDENBERG, 126, boul. Richard-Lenoir, Paris-XI <sup>e</sup> . Téléph. Roquette 56-65.....	7
<b>Machines à essayer les métaux.</b>	
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES AUTOMOBILES MORRIS-LÉON-BOLLÉE, 131, avenue Malakoff, Paris-XVI <sup>e</sup> .....	garde III
<b>Machines-outils.</b>	
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, à Graffenstaden (Bas-Rhin). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII <sup>e</sup> ). 12	12
<b>Machines soufflantes.</b>	
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, à Mulhouse Haut-Rhin). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII <sup>e</sup> ).....	12
<b>Malaxeurs.</b>	
DALBOUZE-BRACHET ET C <sup>ie</sup> , 11, rue Francis-de-Pressensé (ex-r. du Château), à Puteaux (Seine).....	7

Pages .

SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, à Mulhouse (Haut-Rhin). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII <sup>e</sup> ).....	12
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
<b>Marteaux-pilons.</b>	
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
<b>Meubles à plans.</b>	
DARNAY (F.), 1, rue Coppel, Paris-XIII <sup>e</sup> .....	garde 1
<b>Moteurs divers.</b>	
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, à Belfort (Territoire de) et Mulhouse (Haut-Rhin). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII <sup>e</sup> ) .....	12
<b>Moteurs industriels.</b>	
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES AUTOMOBILES MORRIS-LÉON-BOLLÉE, 131, avenue Malakoff, Paris-XVI <sup>e</sup> .....	garde III
<b>Niveaux.</b>	
MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII <sup>e</sup> .....	garde 1
<b>Pâte à braser.</b>	
SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUÏRES A SOUDER J. LAFFITTE, 102, av. Parmentier, Paris-XI <sup>e</sup> .....	garde II
<b>Pièces de forge.</b>	
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
<b>Plaques et poudres à braser et à souder.</b>	
SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUÏRES A SOUDER J. LAFFITTE, 102, av. Parmentier, Paris-XI <sup>e</sup> .....	garde II
SOCIÉTÉ FRANÇAISE SCHAEFFER ET BUDENBERG, 126, boul. Richard-Lenoir, Paris-XI <sup>e</sup> . Téléph. Roquette 56-65.....	7
<b>Ponts à bascule.</b>	
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, à Graffenstaden (Bas-Rhin). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII <sup>e</sup> ). .....	12
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
<b>Ponts roulants.</b>	
ANCIENNE MAISON GALLE. — R. BENOIT, 84, rue Oberkampf, Paris-XI <sup>e</sup> .....	garde 1



Pages.

LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DÉTOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
<b>Poudres à tremper.</b>	
SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUDRES A SOUDER J. LAFFITTE, 102, av. Parmentier, Paris-XI <sup>e</sup> .....	garde II
<b>Presses hydrauliques.</b>	
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DÉTOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
SOCIÉTÉ FRANÇAISE SCHAEFFER ET BUDENBERG, 126, boul. Richard-Lenoir, Paris-XI <sup>e</sup> . Téléph. Roquette 56-65.....	7
<b>Produits chimiques.</b>	
DALBOUZE-BRACHET ET C <sup>ie</sup> , 11, rue Francis-de-Pressensé (ex-r. du Château), à Puteaux (Seine) .....	7
SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES RHONE-POULENC, 21, rue Jean-Goujon, Paris-VIII <sup>e</sup> .....	5
<b>Produits réfractaires.</b>	
SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES RHONE-POULENC, 21, rue Jean-Goujon, Paris-VIII <sup>e</sup> .....	5
PRODUITS RÉFRACTAIRES DE LONGWY.....	10
<b>Pyromètres.</b>	
NICHROMIC, 41, rue des Bas, Asnières (Seine) .....	11
MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII <sup>e</sup> .....	garde I
SOCIÉTÉ FRANÇAISE SCHAEFFER ET BUDENBERG, 126, boul. Richard-Lenoir, Paris-XI <sup>e</sup> . Téléph. Roquette 56-65.....	7
SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES RHONE-POULENC, 21, rue Jean-Goujon, Paris-VIII <sup>e</sup> .....	5
<b>Réfrigérants.</b>	
ENTREPRISE LARBANET, 54, rue Carnot, à Suresnes.....	6
<b>Soudures pour aluminium.</b>	
SOCIÉTÉ DES PLAQUES ET POUDRES A SOUDER J. LAFFITTE, 102, av. Parmentier, Paris-XI <sup>e</sup> .....	garde II
<b>Tachéomètres.</b>	
MORIN (H.), 11, rue Dulong, Paris-XVII <sup>e</sup> .....	garde I
<b>Talc.</b>	
SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES RHONE-POULENC, 21, rue Jean-Goujon, Paris-VIII <sup>e</sup> .....	5

	Pages
<b>Thermomètres.</b>	
VERRERIE DE SAINT-FONS, 8 et 10, rue des Écoles, à Saint-Fons (Rhône) .....	9
<b>Tôles.</b>	
SOCIÉTÉ DU DURALUMIN, 23 bis, rue de Balzac, Paris-VIII <sup>e</sup> .....	3
<b>Trainage.</b>	
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
<b>Transporteurs.</b>	
ANCIENNE MAISON GALLE. — R. BENOIT, 84, rue Oberkampf, Paris-XI <sup>e</sup> .....	garde 1
DALBOUZE-BRACHET ET C <sup>ie</sup> , 11, rue Francis-de-Pressensé (ex-r. du Château), à Puteaux (Seine) .....	7
MARCEL SEBIN ET C <sup>ie</sup> , chaînes, 79, rue d'Angoulême, Paris-XI <sup>e</sup> .....	9
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
<b>Trémies.</b>	
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
<b>Treuil.</b>	
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique) .....	2
<b>Trommels.</b>	
DALBOUZE-BRACHET ET C <sup>ie</sup> , 11, rue Francis-de-Pressensé (ex-r. du Château) à Puteaux (Seine) .....	7
SOCIÉTÉ ANONYME DES ATELIERS DETOMBAY, à Marcinelle-Charleroi (Belgique).....	2
<b>Tubes et Tuyaux.</b>	
SOCIÉTÉ DU DURALUMIN, 23 bis, rue de Balzac, Paris-VIII <sup>e</sup> .....	3
<b>Verrerie industrielle.</b>	
VERRERIE DE SAINT-FONS, 8 et 10, rue des Écoles, à Saint-Fons (Rhône) .....	9
<b>Vérins.</b>	
SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES, à Graffens-taden (Bas-Rhin). — Maison à Paris, 32, rue de Lisbonne (VIII <sup>e</sup> ). ..	12
<b>Wagons et Wagonnets.</b>	
LA BRUGEOISE ET NICAISE ET DELCUVE, à Saint-Michel-lez-Bruges (Belgique).....	6
SOCIÉTÉ ANONYME DES ÉTABLISSEMENTS ARMAND BEAUMARTIN, 33, rue Saint-Genès, à Bordeaux (Gironde).....	couvert. 2

# ARITHMÉTIQUE.

## Proportions.

$$a : b :: c : d, \frac{a}{b} = \frac{c}{d}, a = \frac{b \times c}{d}, ad = bc, \frac{a \pm b}{b} = \frac{c \pm d}{d},$$

$$\frac{a \pm c}{b \pm d} = \frac{a}{b} = \frac{c}{d}, \frac{a^n}{b^n} = \frac{c^n}{d^n}, \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{b}} = \frac{\sqrt{c}}{\sqrt{d}}.$$

## Progressions.

**Progression arithmétique ou par différence.** — La différence d'un terme quelconque avec le précédent est constante; cette différence prend le nom de *raison*. Soient  $a$  le premier terme;  $r$ , la raison;  $n$ , le nombre de termes.

On a :  $a . a + r . a + 2r . a + 3r \dots a + (n - 1)r$   
 la valeur du dernier terme est :  $t = a + (n - 1)r$ ,  
 la somme des  $n$  premiers termes,  $s = \frac{a + t}{2} n$

la raison de la progression formée en insérant  $m$  moyennes entre  $a$  et  $t$  :

$$r = \frac{t - a}{m + 1}.$$

**Progression géométrique ou par quotient.** — Le rapport d'un terme quelconque au précédent est constant; ce rapport prend le nom de *raison*. Soient  $a$  le premier terme;  $q$ , la raison;  $n$ , le nombre de termes.

On a :

$$a . aq . aq^2 . aq^3 \dots aq^{n-1}$$

la valeur du dernier terme est  $t = aq^{n-1}$

la somme des  $n$  premiers termes,  $s = a \frac{q^n - 1}{q - 1}$

si la progression est croissante, et

$$s = a \frac{1 - q^n}{1 - q} \text{ si la progression est décroissante;}$$

la raison de la progression formée en insérant  $m$  moyennes entre  $a$  et  $t$ ,

$$q = \sqrt[m+1]{\frac{t}{a}}.$$

**Sommes de quelques progressions.** — La somme des  $n$  premiers nombres de 1 à  $n$ .

$$1 + 2 + 3 + 4 + \dots + (n - 1) + n = \frac{(1 + n)n}{2}.$$

La somme des  $n$  premiers nombres impairs de 1 à  $(2n - 1)$ ,

$$1 + 3 + 5 + 7 + \dots + (2n - 3) + (2n - 1) = n^2$$

La somme des  $n$  premiers nombres pairs jusqu'à  $2n$ ,

$$2 + 4 + 6 + 8 + \dots + (2n - 2) + 2n = (1 + n)n,$$

La somme des carrés des  $n$  premiers nombres,

$$1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + (n - 1)^2 + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}.$$

(C'est la formule qui permet de calculer les piles de boulets en forme de pyramide à base quadrangulaire.)



# TRIGONOMÉTRIE

## FORMULES GÉNÉRALES

$$\begin{aligned} \sin^2 a + \cos^2 a &= 1. \\ \operatorname{tg} a &= \frac{\sin a}{\cos a} \\ \operatorname{cotg} a &= \frac{\cos a}{\sin a} \\ \sin(a+b) &= \sin a \cos b + \sin b \cos a \\ \sin(a-b) &= \sin a \cos b - \sin b \cos a \\ \cos(a+b) &= \cos a \cos b - \sin a \sin b \\ \cos(a-b) &= \cos a \cos b + \sin a \sin b \\ \operatorname{tg}(a+b) &= \frac{\operatorname{tg} a + \operatorname{tg} b}{1 - \operatorname{tg} a \operatorname{tg} b} \\ \operatorname{tg}(a-b) &= \frac{\operatorname{tg} a - \operatorname{tg} b}{1 + \operatorname{tg} a \operatorname{tg} b} \\ \sin 2a &= 2 \sin a \cos a \\ \cos 2a &= \cos^2 a - \sin^2 a \\ \operatorname{tg} 2a &= \frac{2 \operatorname{tg} a}{1 - \operatorname{tg}^2 a} \\ \sin \frac{a}{2} &= \sqrt{\frac{1 - \cos a}{2}} \\ \cos \frac{a}{2} &= \sqrt{\frac{1 + \cos a}{2}} \\ \cos a + \cos b &= 2 \cos \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2}, & \cos a - \cos b &= -2 \sin \frac{a+b}{2} \sin \frac{a-b}{2}, \\ \sin a + \sin b &= 2 \sin \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2}, & \sin a - \sin b &= 2 \cos \frac{a+b}{2} \sin \frac{a-b}{2}. \end{aligned}$$

## RÉSOLUTION DES TRIANGLES

### Triangles rectangles

$$\begin{aligned} A &= 90^\circ \\ b &= a \sin B, \quad c = a \sin C \\ a &= \sqrt{b^2 + c^2} \end{aligned} \quad \left| \quad \begin{aligned} \log b &= \log a + \log \sin B \\ \log c &= \log a + \log \sin C \\ B &= 90^\circ - C \end{aligned} \right.$$

### Triangles obliquangles

$$a = \frac{b \sin A}{\sin B} = \frac{c \sin A}{\sin C}, \quad b = \frac{a \sin B}{\sin A} = \frac{c \sin B}{\sin C}, \quad c = \frac{a \sin C}{\sin A} = \frac{b \sin C}{\sin B}.$$

*Premier cas.* — On donne  $a, B$  et  $A$ .

$$C = 180 - (A + B) \quad \begin{aligned} \log c &= \log a + \log \sin C - \log \sin A. \\ \log b &= \log a + \log \sin B - \log \sin A. \end{aligned}$$

*Deuxième cas.* — On donne  $a, b$  et  $C$  :  $\frac{A+B}{2} = 90^\circ - \frac{C}{2}$

$$\log \operatorname{tg} \frac{(A-B)}{2} = \log(a-b) + \log \cot \frac{C}{2} - \log(a+b)$$

$$\log c = \log a + \log \sin C - \log \sin A.$$

*Troisième cas.* — On donne  $a, b$  et  $c$  [ $a + b + c = 2p$ ]

$$\log \operatorname{tg} \frac{A}{2} = \frac{1}{2} [\log(p-b) + \log(p-c) - \log p - \log(p-a)]$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{B}{2} = \frac{1}{2} [\log(p-a) + \log(p-c) - \log p - \log(p-b)]$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{C}{2} = \frac{1}{2} [\log(p-a) + \log(p-b) - \log p - \log(p-c)]$$

### Facteurs usuels

$e =$  base des logarithmes népériens.  $Lx = \frac{\log x}{\log e}$

$e = 2,718282,$	$\log e = 0,43429,$	$\frac{1}{e} = 0,367879,$	$\frac{1}{\log e} = 2,30259$
$\pi = 3,141592$	$\log \pi = 0,49715$	$\frac{1}{\pi} = 0,318310$	$\log \frac{1}{\pi} = \bar{1},50285$
$\pi^2 = 9,869604$	$\log \pi^2 = 0,99430$	$\frac{1}{\pi^2} = 0,101321$	$\log \frac{1}{\pi^2} = \bar{1},00570$
$\pi^3 = 31,006276$	$\log \pi^3 = 1,49145$	$\frac{1}{\pi^3} = 0,032252$	$\log \frac{1}{\pi^3} = \bar{2},50855$
$\sqrt{\pi} = 1,772454$	$\log \sqrt{\pi} = 0,24857$	$\sqrt[3]{\pi} = 1,464592$	$\log \sqrt[3]{\pi} = 0,16572$
$\frac{2}{\pi} = 0,636620$	$\frac{\pi}{2} = 1,570796$	$\frac{3}{\pi} = 0,954929$	$\frac{\pi}{3} = 1,047197$

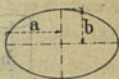
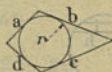
$g,$  accélération d'un corps qui tombe dans le vide.

Valeur de  $g$  à Paris 9,80896 ou plus simplement 9,809 ; au pôle, 9,831 ; à l'équateur, 9,781 ; à Rome, 9,803.

$g = 9,80896$	$\log g = 0,99162$	$g^2 = 96,21569$	$\log g^2 = 1,98324$
$\frac{1}{g} = 0,10194$	$\log \frac{1}{g} = \bar{1},00838$	$\frac{1}{g^2} = 0,01039$	$\log \frac{1}{g^2} = \bar{2},01675$
$2g = 19,61792$	$\log 2g = 1,29265$	$\sqrt{g} = 3,13193$	$\log \sqrt{g} = 0,49581$
$\frac{1}{2g} = 0,05097$	$\log \frac{1}{2g} = \bar{2},70735$	$\frac{1}{\sqrt{g}} = 0,31929$	$\log \frac{1}{\sqrt{g}} = \bar{1},50419$
$2\sqrt{g} = 6,26385$	$\log 2\sqrt{g} = 0,79684$	$\sqrt{2g} = 4,42921$	$\log \sqrt{2g} = 0,64633$

## GÉOMÉTRIE

### SURFACES



$$\sqrt{(p-a)(p-b)(p-c)(p-d)}$$

$$p = \frac{a+b+c+d}{2}$$

$$pr$$

$$\frac{1}{2} mn \sin \alpha$$

Ellipse  
 $\pi ab$

**SURFACES (suite)**



Triangle

1°  $\frac{ah}{2}$     2°  $\frac{abc}{4R}$     3°  $p^2$

$$p = \frac{a+b+c}{2}$$

$$\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$



Cercle,  $\pi R^2 = \frac{\pi D^2}{4} = 0.785 D^2$

Secteur circulaire:  
 $\frac{\text{arc } ACB \times R}{2}$  ou  $\frac{\pi R^2 \alpha}{360}$

$\alpha$  = nombre de degrés de l'arc ACB

Segment circulaire:

$$\frac{\pi R^2 \beta}{360} - \frac{c}{2} (R-f)$$

$\beta$  = nombre de degrés de l'arc DCF



**Polygones réguliers.**

$c$ , côté;  $R$ , rayon du cercle circonscrit;  $n$ , nombre de côtés;

$r$ , rayon du cercle inscrit;  $S$ , surface du polygone.

Somme des angles d'un polygone:  $2(n-2)$  droits.

POLYGONES	R	r	c	S
Triangle.....	0.577 c	0.289 c	1.732 R ou 3.463 r	0.433 c <sup>2</sup> ou 1.299 R <sup>2</sup>
Carré.....	0.707 c	0.300 c	1.414 R = 2.000 r	1.000 c <sup>2</sup> = 2.000 R <sup>2</sup>
Pentagone...	0.851 c	0.688 c	1.476 R = 1.453 r	1.721 c <sup>2</sup> = 2.378 R <sup>2</sup>
Hexagone...	1.000 c	0.866 c	1.000 R = 1.155 r	2.598 c <sup>2</sup> = 2.598 R <sup>2</sup>
Heptagone...	1.152 c	1.038 c	0.868 R = 0.963 r	3.634 c <sup>2</sup> = 2.736 R <sup>2</sup>
Octogone....	1.307 c	1.207 c	0.765 R = 0.828 r	4.828 c <sup>2</sup> = 2.828 R <sup>2</sup>
Eunéagone...	1.462 c	1.374 c	0.684 R = 0.728 r	6.182 c <sup>2</sup> = 2.892 R <sup>2</sup>
Décagone....	1.618 c	1.53 c	0.618 R = 0.649 r	7.694 c <sup>2</sup> = 2.939 R <sup>2</sup>
Endécagone...	1.775 c	1.710 c	0.563 R = 0.587 r	9.366 c <sup>2</sup> = 2.973 R <sup>2</sup>
Dodécagone...	1.932 c	1.866 c	0.518 R = 0.536 r	11.19 c <sup>2</sup> = 3.000 R <sup>2</sup>



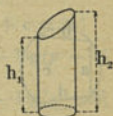
Aire latérale =  $2\pi R h$

Aire totale =  $2\pi R(R+h)$



Sphère  $\frac{4}{3}\pi R^2 = \pi D^2$

Zone sphérique =  $2\pi R h$



$\pi R(h_1+h_2)$  = Aire latérale



**SURFACES (suite)**



$S = Ch$   
*C = Circonférence de la section droite*  
*h = Longueur des génératrices*



*Aire latérale =*  
 $\pi l (R+r)$



*Aire latérale =*  $\pi R l$   
*Aire totale =*  $\pi R (R+l)$

**VOLUMES**



Onglet cylindrique

$$V = \frac{2}{3} R^2 h$$



Cône

$$V = \frac{\pi R^2 H}{3}$$

Tronc de cône

$$V = \frac{\pi H}{3} (R^2 + r^2 + Rr)$$



Tronc de pyramide à bases parallèles

$$1^{\circ} V = \frac{1}{3} H (B + b + \sqrt{Bb})$$

$$2^{\circ} V = \frac{BH}{3} (1 + k + k^2)$$

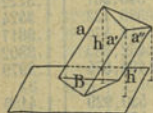


Tronc de cône de seconde espèce

$$V = \frac{\pi H}{3} (R^2 + r^2 - Rr)$$

Sphère =  $\frac{4}{3} \pi R^3 = 4,189 R^3$

Sphère creuse  $V = \frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3)$

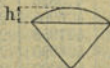


Tronc de prisme triangulaire

$$1^{\circ} V = \frac{B}{3} (h + h' + h'')$$

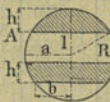
$$2^{\circ} V = S \left( \frac{a + a' + a''}{3} \right) Sz$$

*S, section droite*  
*z, droite joignant les centres de gravité des deux bases*



Secteur sphérique

$$V = \frac{2}{3} \pi R^2 h$$



Segment sphérique à une base de rayon AI

$$1^{\circ} V = \frac{1}{6} \pi h (h^2 + 3AI^2)$$

$$2^{\circ} V = \frac{1}{3} \pi h^2 (3R - h)$$

Segment sphérique à deux bases de rayons a et b

$$V = \frac{1}{16} \pi h (3a^2 + 3b^2 + h^2)$$

**Carrés, Cubes, Racines carrées, Racines cubiques  
Circonférences, Surfaces  
et Logarithmes des nombres ou diamètres de 1 à 105.**

Nombres $d$	Carrés $d^2$	Cubes $d^3$	Racine carrée $\sqrt{d}$	Racine cubique $\sqrt[3]{d}$	Circonférence $\pi d$	Surface $\frac{1}{4} \pi d^2$	Logarithme Log $d$
1	1	1	1.	1.	3,142	0,7854	0.0000
2	4	8	1.4142	1.2599	6,283	3,1416	0.3010
3	9	27	1.7321	1.4422	9,426	7,0686	0.4771
4	16	64	2.0000	1.5874	12,566	12,5664	0.6021
5	25	125	2.2361	1.7100	15,708	19,6350	0.6990
6	36	216	2.4495	1.8171	18,850	28,2743	0.7781
7	49	343	2.8458	1.9129	21,991	38,4845	0.8451
8	64	512	2.8284	2.0000	25,133	50,2655	0.9031
9	81	729	3.0000	2.0801	28,274	63,6173	0.9542
10	100	1000	3.1623	2.1544	31,416	78,5398	1.0000
11	121	1331	3.3166	2.2240	34,558	95,0332	1.0414
12	144	1728	3.4641	2.2894	37,699	113,097	1.0792
13	169	2197	3.6056	2.3513	40,841	132,732	1.1139
14	196	2744	3.7417	2.4101	43,982	153,938	1.1461
15	225	3375	3.8730	2.4662	47,124	176,715	1.1761
16	256	4096	4.0000	2.5198	50,265	201,062	1.2041
17	289	4913	4.1231	2.5713	53,407	226,980	1.2304
18	324	5832	4.2426	2.6207	56,549	254,469	1.2553
19	361	6859	4.3589	2.6684	59,690	283,529	1.2788
20	400	8000	4.4721	2.7144	62,832	314,159	1.3010
21	441	9261	4.5826	2.7589	65,973	346,361	1.3222
22	484	10648	4.6904	2.8020	69,115	380,133	1.3424
23	529	12167	4.7958	2.8439	72,257	415,476	1.3617
24	576	13824	4.8990	2.8845	75,398	452,389	1.3802
25	625	15625	5.0000	2.9240	78,540	490,874	1.3979
26	676	17576	5.0990	2.9625	81,681	530,929	1.4150
27	729	19683	5.1962	3.0000	84,823	572,555	1.4314
28	784	21952	5.2915	3.0366	87,965	615,752	1.4472
29	841	24389	5.3852	3.0723	91,106	660,520	1.4624
30	900	27000	5.4772	3.1072	94,248	706,858	1.4771
31	961	29791	5.5678	3.1414	97,389	754,768	1.4914
32	1024	32768	5.6569	3.1748	100,531	804,248	1.5051
33	1089	35937	5.7446	3.2075	103,673	855,299	1.5185
34	1156	39304	5.8310	3.2396	106,814	907,920	1.5315
35	1225	42875	5.9161	3.2711	109,955	962,113	1.5441

Nombres <i>d</i>	Carrés $d^2$	Cubes $d^3$	Racine carrée $\sqrt{d}$	Racine cubique $\sqrt[3]{d}$	Circon- férence $\pi d$	Surface $\frac{1}{4} \pi d^2$	Logarith Log <i>d</i>
36	1296	46656	6.0000	3.3019	113,097	1017,88	1.5563
37	1369	50653	6.0828	3.3322	116,239	1075,21	1.5682
38	1444	54872	6.1644	3.3620	119,381	1134,11	1.5798
39	1521	59319	6.2450	3.3912	122,522	1194,59	1.5911
40	1600	64000	6.3246	3.4200	125,66	1256,64	1.6021
41	1681	68921	6.4031	3.4482	128,81	1320,25	1.6128
42	1764	74088	6.4807	3.4760	131,95	1385,44	1.6232
43	1849	79507	6.5574	3.5034	135,09	1452,20	1.6335
44	1936	85184	6.6332	3.5303	138,23	1520,53	1.6434
45	2025	91125	6.7082	3.5569	141,37	1590,43	1.6532
46	2116	97336	6.7823	3.5830	144,51	1661,90	1.6628
47	2209	103823	6.8557	3.6088	147,65	1734,94	1.6721
48	2304	110592	6.9282	3.6342	150,80	1809,56	1.6812
49	2401	117649	7.0000	3.6593	153,94	1885,74	1.6902
50	2500	125000	7.0711	3.6840	157,08	1963,50	1.6990
51	2601	132651	7.1414	3.7084	160,22	2042,82	1.7076
52	2704	140608	7.2111	3.7325	163,36	2123,72	1.7160
53	2809	148877	7.2801	3.7563	166,50	2206,18	1.7243
54	2916	157464	7.3485	3.7798	169,65	2290,22	1.7324
55	3025	166375	7.4162	3.8030	172,79	2375,83	1.7404
56	3136	175616	7.4833	3.8259	175,93	2463,01	1.7482
57	3249	185193	7.5498	3.8485	179,07	2551,76	1.7559
58	3364	195112	7.6158	3.8709	182,21	2642,08	1.7634
59	3481	205379	7.6811	3.8930	185,35	2733,97	1.7708
60	3600	216000	7.7460	3.9149	188,50	2827,43	1.7781
61	3721	226981	7.8102	3.9365	191,64	2922,47	1.7853
62	3844	238328	7.8740	3.9579	194,78	3019,07	1.7924
63	3969	250047	7.9373	3.9791	197,92	3117,25	1.7993
64	4096	262144	8.0000	4.0000	201,06	3216,99	1.8062
65	4225	274625	8.0623	4.0207	204,20	3318,31	1.8129
66	4356	287496	8.1240	4.0412	207,35	3421,19	1.8195
67	4489	300763	8.1854	4.0615	210,49	3525,65	1.8261
68	4624	314432	8.2462	4.0817	213,63	3631,68	1.8325
69	4761	328509	8.3066	4.1016	216,77	3739,28	1.8388
70	4900	343000	8.3666	4.1213	219,91	3848,45	1.8451



Nombres $d$	Carrés $d^2$	Cubes $d^3$	Racine carrée $\sqrt{d}$	Racine cubique $\sqrt[3]{d}$	Circon- férence $\pi d$	Surface $\frac{1}{4} \pi d^2$	Logarith Log $d$
71	5041	357911	8.4261	4.1408	223,05	3959,19	1.8513
72	5184	373248	8.4853	4.1602	226,19	4071,50	1.8573
73	5329	389017	8.5440	4.1793	229,34	4185,39	1.8633
74	5476	405224	8.6023	4.1983	232,48	4300,84	1.8692
75	5625	421875	8.6603	4.2172	235,62	4417,86	1.8751
76	5776	438976	8.7178	4.2358	238,76	4536,46	1.8808
77	5929	456533	8.7750	4.2543	241,90	4656,63	1.8865
78	6084	474552	8.8318	4.2727	245,04	4778,36	1.8921
79	6241	493039	8.8882	4.2908	248,19	4901,67	1.8976
80	6400	512000	8.9443	4.3089	251,33	5026,55	1.9031
81	6561	531441	9.0000	4.3267	254,47	5153,00	1.9085
82	6724	551368	9.0554	4.3445	257,61	5281,02	1.9138
83	6889	571787	9.1104	4.3621	260,75	5410,61	1.9191
84	7056	592704	9.1652	4.3795	263,89	5541,77	1.9243
85	7225	614125	9.2195	4.3968	267,04	5674,50	1.9294
86	7396	636056	9.2736	4.4140	270,18	5808,80	1.9345
87	7569	658503	9.3274	4.4310	273,32	5944,68	1.9395
88	7744	681472	9.3808	4.4480	276,46	6082,12	1.9445
89	7921	704969	9.4340	4.4647	279,60	6221,14	1.9494
90	8100	729000	9.4868	4.4814	282,74	6361,73	1.9542
91	8281	753571	9.5394	4.4979	285,88	6503,88	1.9590
92	8464	778688	9.5917	4.5144	289,03	6647,61	1.9638
93	8649	804357	9.6437	4.5307	292,17	6792,91	1.9685
94	8836	830584	9.6954	4.5468	295,31	6939,78	1.9731
95	9025	857375	9.7468	4.5629	298,45	7088,22	1.9777
96	9216	884736	9.7980	4.5789	301,59	7238,23	1.9823
97	9409	912673	9.8489	4.5947	304,73	7389,81	1.9868
98	9604	941192	9.8995	4.6104	307,88	7542,96	1.9912
99	9801	970299	9.9499	4.6261	311,02	7697,69	1.9956
100	10000	1000000	10.0000	4.6416	314,16	7853,98	2.0000
101	10201	1030301	10.0498	4.6570	317,30	8011,85	2.0043
102	10404	1061208	10.0995	4.6723	320,44	8171,28	2.0086
103	10609	1092727	10.1488	4.6875	323,58	8332,29	2.0128
104	10816	1124864	10.1980	4.7026	326,73	8494,87	2.0170
105	11025	1157625	10.2469	4.7176	329,87	8659,01	2.0212

## Arcs, Cordes, Flèches et Surfaces des segments pour $R = 1$ .

Si  $R = r$ , la surface est proportionnelle à  $r^2$ .

Degrés	Arcs	Cordes	Flèches	Surfaces des segments	Degrés	Arcs	Cordes	Flèches	Surfaces des segments
1	0.0175	0.0175	0.00004	0.00000	46	0.8029	0.7815	0.0795	0.04176
2	0.0349	0.0349	0.00015	0.00000	47	0.8203	0.7975	0.0829	0.04448
3	0.0524	0.0524	0.00034	0.00001	48	0.8378	0.8135	0.0865	0.04731
4	0.0698	0.0698	0.00061	0.00003	49	0.8552	0.8294	0.0900	0.05025
5	0.0873	0.0872	0.00095	0.00006	50	0.8727	0.8452	0.0937	0.05331
6	0.1047	0.1047	0.00137	0.00010	51	0.8901	0.8610	0.0974	0.05649
7	0.1222	0.1221	0.00187	0.00015	52	0.9076	0.8767	0.1012	0.05978
8	0.1396	0.1395	0.00244	0.00023	53	0.9250	0.8924	0.1051	0.06319
9	0.1571	0.1569	0.00308	0.00032	54	0.9425	0.9080	0.1090	0.06673
10	0.1745	0.1743	0.00381	0.00044	55	0.9599	0.9235	0.1130	0.07039
11	0.1920	0.1917	0.00460	0.00059	56	0.9774	0.9389	0.1171	0.07417
12	0.2094	0.2091	0.00548	0.00076	57	0.9948	0.9543	0.1212	0.07808
13	0.2269	0.2264	0.00644	0.00097	58	1.0123	0.9696	0.1254	0.08212
14	0.2443	0.2437	0.00745	0.00121	59	1.0297	0.9848	0.1296	0.08629
15	0.2618	0.2611	0.00855	0.00149	60	1.0472	1.0000	0.1340	0.09059
16	0.2793	0.2783	0.00973	0.00181	61	1.0647	1.0151	0.1384	0.09502
17	0.2967	0.2956	0.01098	0.00217	62	1.0821	1.0301	0.1428	0.09958
18	0.3142	0.3129	0.01231	0.00257	63	1.0996	1.0450	0.1474	0.10428
19	0.3316	0.3301	0.01371	0.00302	64	1.1170	1.0598	0.1520	0.10911
20	0.3491	0.3473	0.01519	0.00352	65	1.1345	1.0746	0.1566	0.11408
21	0.3665	0.3645	0.01675	0.00408	66	1.1519	1.0893	0.1613	0.11919
22	0.3840	0.3816	0.01837	0.00468	67	1.1694	1.1039	0.1661	0.12443
23	0.4014	0.3987	0.02008	0.00535	68	1.1868	1.1184	0.1710	0.12982
24	0.4189	0.4158	0.02185	0.00607	69	1.2043	1.1328	0.1759	0.13535
25	0.4363	0.4329	0.02376	0.00686	70	1.2217	1.1472	0.1808	0.14102
26	0.4538	0.4499	0.02563	0.00771	71	1.2392	1.1614	0.1859	0.14683
27	0.4712	0.4669	0.02763	0.00862	72	1.2566	1.1756	0.1910	0.15279
28	0.4887	0.4838	0.02969	0.00961	73	1.2741	1.1896	0.1961	0.15889
29	0.5061	0.5008	0.03185	0.01067	74	1.2915	1.2036	0.2014	0.16514
30	0.5236	0.5176	0.03407	0.01180	75	1.3090	1.2175	0.2066	0.17154
31	0.5411	0.5345	0.03637	0.01301	76	1.3265	1.2313	0.2120	0.17808
32	0.5585	0.5512	0.03874	0.01429	77	1.3439	1.2450	0.2174	0.18477
33	0.5760	0.5680	0.04118	0.01566	78	1.3614	1.2586	0.2229	0.19160
34	0.5934	0.5847	0.04370	0.01711	79	1.3788	1.2722	0.2284	0.19859
35	0.6109	0.6014	0.04628	0.01864	80	1.3963	1.2856	0.2340	0.20573
36	0.6283	0.6180	0.04894	0.02027	81	1.4137	1.2989	0.2396	0.21301
37	0.6458	0.6346	0.05168	0.02198	82	1.4312	1.3121	0.2453	0.22045
38	0.6632	0.6511	0.05448	0.02378	83	1.4486	1.3252	0.2510	0.22804
39	0.6807	0.6676	0.05735	0.02568	84	1.4661	1.3383	0.2569	0.23578
40	0.6981	0.6840	0.06031	0.02767	85	1.4835	1.3512	0.2627	0.24367
41	0.7156	0.7004	0.06333	0.02976	86	1.5010	1.3640	0.2686	0.25171
42	0.7330	0.7167	0.06642	0.03199	87	1.5184	1.3767	0.2746	0.25990
43	0.7505	0.7330	0.06958	0.03425	88	1.5359	1.3893	0.2807	0.26825
44	0.7679	0.7492	0.07281	0.03664	89	1.5533	1.4018	0.2867	0.27675
45	0.7854	0.7654	0.07611	0.03915	90	1.5708	1.4142	0.2929	0.28540

Degrés	Arcs	Cordes	Fleches	Surfaces des segments	Degrés	Arcs	Cordes	Fleches	Surfaces des segments
91	1.5882	1.4265	0.2994	0.29420	136	2.3736	1.8544	0.6254	0.83949
92	1.6057	1.4387	0.3053	0.30316	137	2.3911	1.8608	0.6335	0.85455
93	1.6232	1.4507	0.3116	0.31226	138	2.4086	1.8672	0.6416	0.86971
94	1.6405	1.4627	0.3180	0.32152	139	2.4260	1.8733	0.6498	0.88497
95	1.6580	1.4746	0.3244	0.33093	140	2.4435	1.8794	0.6580	0.90034
96	1.6755	1.4863	0.3309	0.34050	141	2.4609	1.8853	0.6662	0.91580
97	1.6930	1.4979	0.3374	0.35021	142	2.4784	1.8910	0.6744	0.93135
98	1.7104	1.5094	0.3439	0.36008	143	2.4958	1.8966	0.6827	0.94700
99	1.7279	1.5208	0.3506	0.37009	144	2.5133	1.9021	0.6910	0.96274
100	1.7453	1.5321	0.3572	0.38026	145	2.5307	1.9074	0.6993	0.97858
101	1.7628	1.5432	0.3639	0.39058	146	2.5482	1.9126	0.7076	0.99449
102	1.7802	1.5543	0.3707	0.40104	147	2.5656	1.9176	0.7160	1.01050
103	1.7977	1.5652	0.3775	0.41166	148	2.5831	1.9225	0.7244	1.02658
104	1.8151	1.5760	0.3843	0.42242	149	2.6005	1.9273	0.7328	1.04275
105	1.8326	1.5867	0.3912	0.43334	150	2.6180	1.9319	0.7412	1.05900
106	1.8500	1.5973	0.3982	0.44439	151	2.6354	1.9363	0.7496	1.07532
107	1.8675	1.6077	0.4052	0.45560	152	2.6529	1.9406	0.7581	1.09171
108	1.8850	1.6180	0.4122	0.46695	153	2.6704	1.9447	0.7666	1.10818
109	1.9025	1.6282	0.4193	0.47844	154	2.6878	1.9487	0.7750	1.12472
110	1.9199	1.6383	0.4264	0.49008	155	2.7053	1.9525	0.7836	1.14132
111	1.9373	1.6483	0.4336	0.50187	156	2.7227	1.9563	0.7921	1.15799
112	1.9548	1.6581	0.4408	0.51379	157	2.7402	1.9598	0.8006	1.17472
113	1.9722	1.6678	0.4481	0.52586	158	2.7576	1.9632	0.8092	1.19151
114	1.9897	1.6773	0.4554	0.53807	159	2.7751	1.9665	0.8178	1.20835
115	2.0071	1.6868	0.4627	0.55041	160	2.7925	1.9696	0.8264	1.22525
116	2.0246	1.6961	0.4701	0.56289	161	2.8100	1.9726	0.8350	1.24221
117	2.0420	1.7053	0.4775	0.57551	162	2.8274	1.9754	0.8436	1.25921
118	2.0595	1.7143	0.4850	0.58827	163	2.8449	1.9780	0.8522	1.27626
119	2.0769	1.7233	0.4925	0.60116	164	2.8623	1.9805	0.8608	1.29335
120	2.0944	1.7321	0.5000	0.61418	165	2.8798	1.9829	0.8695	1.31049
121	2.1118	1.7407	0.5076	0.62734	166	2.8972	1.9851	0.8781	1.32766
122	2.1293	1.7492	0.5152	0.64063	167	2.9147	1.9871	0.8868	1.34487
123	2.1468	1.7576	0.5228	0.65404	168	2.9322	1.9890	0.8955	1.36212
124	2.1642	1.7659	0.5305	0.66759	169	2.9496	1.9908	0.9042	1.37940
125	2.1817	1.7740	0.5388	0.68125	170	2.9671	1.9924	0.9128	1.39671
126	2.1991	1.7820	0.5460	0.69505	171	2.9845	1.9938	0.9215	1.41404
127	2.2166	1.7899	0.5538	0.70897	172	3.0020	1.9951	0.9302	1.43140
128	2.2340	1.7976	0.5616	0.72301	173	3.0194	1.9963	0.9390	1.44878
129	2.2515	1.8052	0.5695	0.73716	174	3.0369	1.9973	0.9477	1.46617
130	2.2689	1.8128	0.5774	0.75144	175	3.0543	1.9981	0.9564	1.48359
131	2.2864	1.8199	0.5853	0.76584	176	3.0718	1.9988	0.9651	1.50101
132	2.3038	1.8271	0.5933	0.78034	177	3.0892	1.9993	0.9738	1.51845
133	2.3213	1.8341	0.6013	0.79497	178	3.1067	1.9997	0.9825	1.53589
134	2.3387	1.8410	0.6093	0.80970	179	3.1241	1.9999	0.9913	1.55334
135	2.3562	1.8478	0.6173	0.82454	180	3.1416	2.0000	1.0000	1.57080



**Tangentes et cotangentes  
des angles de 0° à 90°.**

**Sinus et cosinus  
des angles de 0° à 90°.**

Angle (1)	Tangente de (1) et cotangente de (3)	Angle (3)	Angle (1)	Tangente de (1) et cotangente de (3)	Angle (3)
0°	0,0000	90°	46°	1,0355	44
1	0,0174	89	47	1,0724	43
2	0,0349	88	48	1,1106	42
3	0,0524	87	49	1,1504	41
4	0,0699	86	50	1,1918	40
5	0,0875	85	51	1,2349	39
6	0,1051	84	52	1,2799	38
7	0,1228	83	53	1,3270	37
8	0,1405	82	54	1,3764	36
9	0,1584	81	55	1,4281	35
10	0,1763	80	56	1,4826	34
11	0,1944	79	57	1,5399	33
12	0,2126	78	58	1,6003	32
13	0,2309	77	59	1,6643	31
14	0,2493	76	60	1,7321	30
15	0,2679	75	61	1,8040	29
16	0,2867	74	62	1,8807	28
17	0,3057	73	63	1,9626	27
18	0,3249	72	64	2,0503	26
19	0,3443	71	65	2,1445	25
20	0,3640	70	66	2,2460	24
21	0,3839	69	67	2,3559	23
22	0,4040	68	68	2,4751	22
23	0,4245	67	69	2,6051	21
24	0,4452	66	70	2,7475	20
25	0,4663	65	71	2,9042	19
26	0,4877	64	72	3,0777	18
27	0,5095	63	73	3,2709	17
28	0,5317	62	74	3,4874	16
29	0,5543	61	75	3,7321	15
30	0,5774	60	76	4,0108	14
31	0,6009	59	77	4,3315	13
32	0,6249	58	78	4,7046	12
33	0,6494	57	79	5,1445	11
34	0,6745	56	80	5,6713	10
35	0,7002	55	81	6,3138	9
36	0,7265	54	82	7,1154	8
37	0,7536	53	83	8,1449	7
38	0,7813	52	84	9,5144	6
39	0,8098	51	85	11,4301	5
40	0,8391	50	86	14,3007	4
41	0,8693	49	87	19,0811	3
42	0,9004	48	88	28,6362	2
43	0,9325	47	89	57,2900	1
44	0,9657	46	90	infini	0
45	1,0000	45			

Angle (1)	Sinus de (1) et cosinus de (3)	Angle (3)	Angle (1)	Sinus de (1) et cosinus de (3)	Angle (3)
0°	0,0000	90°	46°	0,7193	44°
1	0,0174	89	47	0,7314	43
2	0,0349	88	48	0,7431	42
3	0,0523	87	49	0,7547	41
4	0,0698	86	50	0,7660	40
5	0,0872	85	51	0,7771	39
6	0,1045	84	52	0,7880	38
7	0,1219	83	53	0,7986	37
8	0,1392	82	54	0,8090	36
9	0,1564	81	55	0,8192	35
10	0,1736	80	56	0,8290	34
11	0,1908	79	57	0,8387	33
12	0,2079	78	58	0,8480	32
13	0,2250	77	59	0,8572	31
14	0,2419	76	60	0,8660	30
15	0,2588	75	61	0,8746	29
16	0,2756	74	62	0,8819	28
17	0,2924	73	63	0,8910	27
18	0,3090	72	64	0,8988	26
19	0,3255	71	65	0,9063	25
20	0,3420	70	66	0,9135	24
21	0,3584	69	67	0,9205	23
22	0,3745	68	68	0,9272	22
23	0,3907	67	69	0,9336	21
24	0,4067	66	70	0,9397	20
25	0,4226	65	71	0,9455	19
26	0,4384	64	72	0,9511	18
27	0,4540	63	73	0,9563	17
28	0,4695	62	74	0,9613	16
29	0,4848	61	75	0,9659	15
30	0,5000	60	76	0,9703	14
31	0,5150	59	77	0,9744	13
32	0,5299	58	78	0,9781	12
33	0,5446	57	79	0,9816	11
34	0,5592	56	80	0,9848	10
35	0,5736	55	81	0,9877	9
36	0,5878	54	82	0,9903	8
37	0,6018	53	83	0,9925	7
38	0,6157	52	84	0,9945	6
39	0,6293	51	85	0,9962	5
40	0,6428	50	86	0,9976	4
41	0,6561	49	87	0,9986	3
42	0,6691	48	88	0,9994	2
43	0,6820	47	89	0,9998	1
44	0,6947	46	90	1,0000	0
45	0,7071	45			

Intérêts composés.

Valeur, à la fin de  $n$  années, de 1 franc placé à intérêt composé.

Nombre d'années $n$	TAUX DE L'INTÉRÊT					
	T = 5	T = 6	T = 7	T = 8	T = 10	T = 12
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
1	1.050	1.060	1.070	1.080	1.100	1.120
2	1.102	1.123	1.144	1.166	1.210	1.254
3	1.157	1.191	1.225	1.259	1.331	1.405
4	1.215	1.262	1.310	1.360	1.461	1.573
5	1.276	1.338	1.402	1.469	1.610	1.762
6	1.340	1.418	1.500	1.586	1.771	1.974
7	1.407	1.503	1.605	1.713	1.948	2.210
8	1.477	1.593	1.718	1.850	2.143	2.475
9	1.551	1.689	1.838	1.999	2.357	2.773
10	1.628	1.790	1.967	2.158	2.593	3.106
11	1.710	1.898	2.104	2.331	2.853	3.478
12	1.795	2.012	2.252	2.518	3.138	3.896
13	1.885	2.132	2.409	2.719	3.452	4.363
14	1.979	2.260	2.578	2.937	3.797	4.887
15	2.078	2.396	2.759	3.172	4.177	5.473
16	2.182	2.540	2.952	3.425	4.594	6.130
17	2.292	2.692	3.158	3.700	5.054	6.866
18	2.406	2.854	3.379	3.996	5.559	7.690
19	2.526	3.025	3.616	4.315	6.115	8.612
20	2.653	3.207	3.869	4.660	6.727	9.642
21	2.785	3.399	4.140	5.033	7.400	10.804
22	2.9.5	3.603	4.430	5.436	8.140	12.100
23	3.071	3.819	4.740	5.871	8.954	13.552
24	3.225	4.048	5.072	6.341	9.849	15.178
25	3.386	4.291	5.247	6.848	10.834	17.000
26	3.555	4.549	5.807	7.396	11.918	19.040
27	3.733	4.822	6.243	7.988	13.109	21.325
28	3.920	5.111	6.648	8.627	14.420	23.884
29	4.116	5.418	7.114	9.317	15.863	26.750
30	4.321	5.743	7.642	10.062	17.449	29.960
31	4.538	6.088	8.145	10.867	19.194	33.555
32	4.764	6.453	8.715	11.737	21.113	37.581
33	5.003	6.840	9.325	12.676	23.225	42.091
34	5.253	7.251	9.978	13.690	25.547	47.142

EXEMPLE. — Quel est, au bout de 22 ans, le capital produit par 1.200 francs placés à intérêts composés au taux de 6 0/0 par an ?

Le nombre 3,603, qui correspond à  $n = 22$  et à  $T = 6$ , est la valeur de 1 franc au bout de 22 ans. En le multipliant par 1.200, on trouve 4.323 fr. 60 qui est la valeur de 1.200 francs au bout de 22 ans.

### Amortissement

**Temps nécessaire pour opérer l'amortissement d'un capital.**

TAUX $t$ de l'amortissement	TAUX DE L'INTÉRÊT									
	T = 5		T = 6		T = 8		T = 10		T = 12	
	Ans	Jours	Ans	Jours	Ans	Jours	Ans	Jours	Ans	Jours
0.001	80	214	70	201	57	36	48	152	42	114
0.002	66	284	58	341	48	91	41	91	36	99
0.0025	62	146	55	88	45	156	38	347	34	123
0.003	58	317	52	91	43	51	37	36	32	277
0.004	53	126	47	213	39	201	34	66	30	108
0.005	49	54	44	7	36	293	31	340	28	145
0.006	45	285	41	56	34	215	30	47	26	311
0.007	42	359	38	279	32	268	28	220	25	207
0.0075	41	273	37	259	31	322	27	337	25	0
0.008	40	220	36	266	31	57	27	110	24	167
0.009	38	197	34	350	29	278	26	61	23	178
0.01	36	265	33	144	28	201	25	58	22	228
0.011	35	40	32	1	27	164	24	92	21	309
0.012	33	241	30	274	26	169	23	156	21	57
0.0125	32	361	30	61	26	2	23	19	20	299
0.013	32	126	29	224	25	120	22	257	20	137
0.014	31	55	28	210	24	182	22	12	19	335
0.015	30	20	27	227	23	354	21	134	19	140
0.016	29	16	26	271	23	101	20	284	18	318
0.017	28	40	25	338	22	228	20	90	18	148
0.0175	27	244	25	197	22	115	19	352	18	68
0.018	27	88	25	60	22	7	19	262	17	350
0.019	26	158	24	167	21	164	19	85	17	202
0.02	25	247	23	289	20	329	18	288	17	61
0.0225	23	359	22	109	19	253	17	281	16	103
0.025	22	189	21	1	18	233	16	319	15	184
0.0275	21	86	19	316	17	257	16	34	14	296
0.03	20	38	18	312	16	318	15	139	14	73
0.0325	19	34	17	347	16	82	14	296	13	231
0.035	18	68	17	50	15	208	14	95	13	54
0.0375	17	133	16	145	14	334	13	254	12	239
0.04	16	227	15	265	14	100	13	52	12	84

EXEMPLE. — Quel est le temps nécessaire pour amortir un capital, le taux de l'amortissement  $t$  étant de 2 0/0 ou 0,02, et le taux de l'intérêt  $T$ , 5 0/0 ?

En lisant sur la table le nombre qui se trouve dans la colonne verticale  $T = 5$  et dans la colonne horizontale 0,02, on trouve 25 ans 247 jours.



**Valeur actuelle de 1 franc payable à la fin de  $n$  années.**

**Taux de l'amortissement nécessaire pour amortir un capital dans un nombre  $n$  d'années.**

Nombre d'années $n$	TAUX DE L'INTÉRÊT				
	T = 5	T = 6	T = 8	T = 10	T = 12
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
1	0,952	0,934	0,925	0,909	0,893
2	0,907	0,889	0,887	0,820	0,797
3	0,863	0,839	0,793	0,751	0,712
4	0,822	0,792	0,735	0,683	0,636
5	0,783	0,747	0,680	0,620	0,567
6	0,746	0,704	0,630	0,564	0,507
7	0,710	0,665	0,583	0,513	0,452
8	0,676	0,627	0,540	0,466	0,404
9	0,644	0,591	0,500	0,424	0,361
10	0,613	0,558	0,463	0,385	0,322
11	0,584	0,526	0,428	0,350	0,287
12	0,556	0,496	0,397	0,318	0,257
13	0,530	0,468	0,367	0,289	0,229
14	0,505	0,442	0,340	0,263	0,205
15	0,481	0,417	0,315	0,239	0,183
16	0,458	0,393	0,291	0,217	0,163
17	0,436	0,371	0,270	0,197	0,146
18	0,415	0,350	0,250	0,179	0,130
19	0,395	0,330	0,231	0,163	0,116
20	0,376	0,311	0,214	0,148	0,104
21	0,358	0,294	0,198	0,135	0,093
22	0,341	0,277	0,183	0,122	0,083
23	0,325	0,261	0,170	0,111	0,074
24	0,310	0,246	0,157	0,101	0,066
25	0,295	0,232	0,146	0,092	0,059
26	0,281	0,219	0,135	0,083	0,053
27	0,267	0,207	0,125	0,076	0,047
28	0,255	0,195	0,115	0,069	0,042
29	0,242	0,184	0,107	0,063	0,039
30	0,231	0,174	0,099	0,057	0,033
31	0,220	0,164	0,092	0,052	0,030
32	0,209	0,154	0,085	0,047	0,027
33	0,199	0,145	0,078	0,043	0,024
34	0,190	0,137	0,073	0,039	0,021
35	0,181	0,130	0,067	0,035	0,019

Nombre d'années $n$	TAUX DE L'INTÉRÊT				
	T = 5	T = 6	T = 8	T = 10	T = 12
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,487	0,485	0,480	0,476	0,472
3	0,317	0,314	0,308	0,302	0,296
4	0,232	0,228	0,221	0,215	0,209
5	0,180	0,177	0,170	0,163	0,157
6	0,147	0,143	0,136	0,129	0,123
7	0,122	0,119	0,112	0,105	0,099
8	0,104	0,101	0,094	0,087	0,081
9	0,090	0,087	0,080	0,073	0,068
10	0,079	0,075	0,069	0,062	0,057
11	0,070	0,066	0,060	0,053	0,048
12	0,062	0,059	0,052	0,045	0,041
13	0,056	0,052	0,045	0,040	0,036
14	0,051	0,047	0,041	0,035	0,031
15	0,046	0,042	0,036	0,031	0,027
16	0,042	0,038	0,032	0,027	0,023
17	0,038	0,033	0,029	0,024	0,020
18	0,035	0,032	0,026	0,021	0,018
19	0,032	0,029	0,024	0,019	0,016
20	0,030	0,027	0,021	0,017	0,014
21	0,027	0,025	0,019	0,015	0,012
22	0,025	0,023	0,018	0,014	0,011
23	0,024	0,021	0,016	0,012	0,010
24	0,022	0,019	0,015	0,011	0,008
25	0,020	0,018	0,013	0,010	0,007
26	0,019	0,016	0,012	0,009	0,007
27	0,018	0,015	0,011	0,008	0,006
28	0,017	0,014	0,010	0,007	0,005
29	0,016	0,013	0,009	0,006	0,003
30	0,015	0,012	0,008	0,006	0,004
31	0,014	0,011	0,008	0,005	0,004
32	0,013	0,011	0,007	0,005	0,003
33	0,012	0,010	0,006	0,004	0,003
34	0,011	0,009	0,006	0,004	0,003
35	0,011	0,008	0,005	0,003	0,002

Exemple : Somme à payer actuellement pour se libérer de 4.000 francs exigibles dans 25 ans (taux 6 0/0).

0,232 est la valeur de 1 franc payable dans 25 ans, la somme cherchée est :

$$4.000 \times 0,232 = 928 \text{ francs.}$$

Exemple : Taux d'amortissement nécessaire pour amortir un capital dans 30 ans au taux de 5 0/0.

Pour  $n = 30$ , et  $T = 5$  on trouve 0,015, le taux cherché est donc 1,50 0/0 du capital.

### Annuités au moyen desquelles l'on peut amortir un capital de 1 franc.

Nombre d'années <i>n</i>	TAUX DE L'INTÉRÊT									
	3	3 1/2	4	4 1/2	5	6	7	8	10	12
1	1.030	1.035	1.040	1.045	1.050	1.060	1.070	1.080	1.100	1.120
2	0.732	0.736	0.730	0.733	0.737	0.745	0.753	0.760	0.776	0.792
3	0.353	0.356	0.360	0.363	0.367	0.374	0.381	0.388	0.402	0.416
4	0.269	0.272	0.275	0.278	0.282	0.288	0.295	0.301	0.315	0.329
5	0.218	0.221	0.224	0.227	0.230	0.237	0.243	0.250	0.263	0.277
6	0.184	0.187	0.190	0.193	0.197	0.203	0.209	0.216	0.229	0.243
7	0.160	0.163	0.166	0.169	0.172	0.179	0.185	0.192	0.205	0.219
8	0.142	0.145	0.148	0.151	0.154	0.161	0.167	0.174	0.187	0.201
9	0.128	0.131	0.134	0.137	0.140	0.147	0.153	0.160	0.173	0.188
10	0.117	0.120	0.123	0.126	0.129	0.135	0.142	0.149	0.162	0.177
11	0.108	0.111	0.114	0.117	0.120	0.126	0.133	0.140	0.153	0.168
12	0.100	0.103	0.106	0.109	0.112	0.119	0.125	0.132	0.145	0.161
13	0.0940	0.0970	0.100	0.103	0.106	0.112	0.119	0.126	0.140	0.155
15	0.0885	0.0915	0.0946	0.0978	0.101	0.107	0.114	0.121	0.135	0.151
15	0.0837	0.0868	0.0899	0.0931	0.0963	0.102	0.109	0.116	0.131	0.147
16	0.0790	0.0826	0.0858	0.0890	0.0922	0.0989	0.105	0.112	0.127	0.143
17	0.0759	0.0790	0.0821	0.0854	0.0886	0.0954	0.102	0.109	0.124	0.140
18	0.0727	0.0758	0.0789	0.0822	0.0855	0.0923	0.099	0.106	0.121	0.138
19	0.0698	0.0729	0.0761	0.0794	0.0827	0.0896	0.0967	0.104	0.119	0.136
20	0.0672	0.0663	0.0735	0.0768	0.0802	0.0871	0.0943	0.101	0.117	0.134
21	0.0648	0.0680	0.0712	0.0746	0.0779	0.0850	0.0922	0.099	0.115	0.132
22	0.0627	0.0659	0.0691	0.0725	0.0759	0.0830	0.0904	0.0980	0.114	0.131
23	0.0608	0.0640	0.0673	0.0706	0.0741	0.0812	0.0887	0.0964	0.112	0.130
24	0.0590	0.0622	0.0655	0.0689	0.0724	0.0796	0.0876	0.0959	0.111	0.128
25	0.0574	0.0606	0.0640	0.0674	0.0709	0.0782	0.0858	0.0936	0.110	0.127
26	0.0559	0.0592	0.0625	0.0660	0.0695	0.0769	0.0845	0.0925	0.109	0.127
27	0.0545	0.0578	0.0612	0.0647	0.0682	0.0756	0.0834	0.0914	0.108	0.126
28	0.0532	0.0565	0.0600	0.0635	0.0671	0.0745	0.0823	0.0904	0.107	0.125
29	0.0521	0.0554	0.0588	0.0624	0.0660	0.0735	0.0814	0.0896	0.106	0.125
30	0.0510	0.0543	0.0578	0.0613	0.0650	0.0726	0.0805	0.0888	0.106	0.124
31	0.0499	0.0533	0.0568	0.0604	0.0641	0.0717	0.0797	0.0881	0.104	0.124
32	0.0490	0.0524	0.0559	0.0595	0.0632	0.0708	0.0789	0.0874	0.104	0.123
33	0.0481	0.0515	0.0551	0.0587	0.0624	0.0701	0.0784	0.0868	0.104	0.123
34	0.0473	0.0507	0.0543	0.0579	0.0617	0.0695	0.0777	0.0863	0.104	0.123
35	0.0465	0.0499	0.0535	0.0572	0.0610	0.0689	0.0772	0.0858	0.103	0.122

EXEMPLE. — Avec quelle annuité pourra-t-on amortir en 30 ans un capital placé à 5 0/0 ?

Le nombre qui correspond à  $n = 30$  et à  $T = 5$  dans le tableau précédent est 0,065; donc on devra payer 0,065 du capital pour l'amortir en 30 ans. Ce nombre correspond exactement à l'exemple de la page précédente.

## Tables de transformation.

**Pentes métriques en degrés d'inclinaison.**

Pente métrique	Degrés d'inclinaison	Pente métrique	Degrés d'inclinaison
0 <sup>m</sup> ,005	0°17' 10"	0 <sup>m</sup> ,080	4°34' 30"
0,010	0 35 0	0,085	4 51 30
0,015	0 51 30	0,090	5 8 30
0,020	1 8 40	0,095	5 25 30
0,025	1 26 0	0,100	5 42 30
0 0 0	1 43 01	0,105	5 50 30
0,035	2 0 20	0,110	6 16 30
0,040	2 17 30	0,115	6 33 40
0,045	2 34 40	0,120	6 50 30
0,050	2 51 40	0,125	7 7 30
0,055	3 8 50	0,130	7 24 20
0,060	3 26 0	0,135	7 41 20
0,065	3 43 10	0,140	7 58 10
0,070	4 0 20	0,145	8 15 5
0,075	4 17 20	0,150	8 31 50

**Fractions ordinaires en fractions décimales (racines carrées et cubiques).**

Fractions ordinaires	Fractions décimales	Racines carrées	Racines cubiques	Fractions ordinaires	Fractions décimales	Racines carrées	Racines cubiques
1/3	0,333	0,577	0,693	1/8	0,125	0,354	0,500
2/3	0,666	0,816	0,874	3/8	0,375	0,612	0,721
1/4	0,250	0,500	0,630	5/8	0,625	0,791	0,855
3/4	0,750	0,866	0,909	7/8	0,875	0,935	0,956
1/6	0,166	0,408	0,550	1/9	0,111	0,333	0,481
5/6	0,833	0,913	0,941	2/9	0,222	0,471	0,606
1/7	0,143	0,378	0,523	4/9	0,444	0,667	0,763
2/7	0,286	0,535	0,659	5/9	0,555	0,745	0,821
3/7	0,428	0,555	0,754	7/9	0,777	0,882	0,920
4/7	0,571	0,756	0,830	1/12	0,083	0,289	0,437
5/7	0,714	0,845	0,894	5/12	0,416	0,645	0,747
6/7	0,857	0,926	0,950	7/12	0,583	0,764	0,836

**Degrés d'inclinaison en pentes métriques.**

Degrés d'inclinaison	Pente métrique	Degrés d'inclinaison	Pente métrique
0°15	0,00436	10°	0,17633
0 30	0,00873	12	0,21256
0 45	0,01309	14	0,24933
0 60	0,01746	16	0,28675
1 30	0,02618	18	0,32492
2	0,03492	20	0,36397
2 30	0,04366	22	0,40403
3	0,05241	24	0,44523
3 30	0,06116	26	0,48773
4	0,06993	28	0,53171
4 30	0,07870	30	0,57735
5	0,08749	32	0,62487
6	0,10510	34	0,67451
7	0,12278	36	0,72654
8	0,14054	38	0,78120
9	0,15838	40	0,83910

**Litres par seconde en litres par minute, en mètres cubes par heure et réciproquement.**

Litres par seconde			Litres par minute			Mètres cubes par heure		
Litres par seconde	Litres par minute	Mètres cubes par heure	Litres par seconde	Litres par minute	Mètres cubes par heure	Litres par seconde	Litres par minute	Mètres cubes par heure
1	60	3,600	1	0,016	0,060	1	16,66	0,277
2	120	7,200	2	0,033	0,120	1	33,33	0,555
3	180	10,800	3	0,050	0,180	3	50,00	0,833
4	240	14,400	4	0,066	0,240	4	66,66	1,111
5	300	18,000	5	0,083	0,300	5	83,33	1,388
6	360	21,600	6	0,100	0,360	6	100,00	1,666
7	420	25,200	7	0,116	0,420	7	116,66	1,944
8	480	28,800	8	0,133	0,480	8	133,33	2,222
9	540	32,400	9	0,150	0,540	9	150,00	2,500



## MESURES

## Décret pris en vertu de la loi du 2 avril 1919.

## LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Sur le rapport du Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, du Ministre des Affaires Étrangères, du Ministre de l'Intérieur et du Ministre des Colonies;  
Vu la loi du 2 avril 1919 sur les unités de mesure, et notamment les paragraphes 3, 4 et 5 de l'article 2 de ladite loi ..... décrète :

**Article 1.** — Les unités secondaires de mesure se subdivisent en unités géométriques, de masse, de temps, mécanique, électriques, calorifiques, optiques; ces unités sont énumérées et définies au tableau qui suit.

**Art. 2.** — Sont autorisés à titre provisoire l'emploi et la dénomination des unités géométriques et mécaniques ci-après :

*Longueur* : le mille marin = 1.852 m. — *Force* : kilogramme-poids ou kilogramme force = 9,8 centisthène. — *Energie* : le kilogrammètre = 9,8 joules. — *Puissance* : cheval-vapeur = 75 kilogrammètres par seconde ou 0,735 kilowatt et poncelet = 100 kilogrammètres par seconde ou 0,98 kilowatt. — *Pression* : kilogramme force par centimètre carré = 0,98 hectopièze.

**Art. 3.** — Pour la France, les Colonies et pays français de protectorat, les étalons légaux du mètre et du kilogramme sont la copie n° 8 du mètre international et la copie n° 35 du kilogramme international déposées au Conservatoire national des Arts et Métiers.

**Art. 4.** — Un arrêté ministériel fixera les règles à suivre pour la conservation des étalons des unités principales et secondaires.

**Art. 5.** — Est approuvé, pour être annexé au présent décret, le tableau général des unités légales de mesure, dressé en exécution de la loi du 2 avril 1919.

**Art. 6.** — Est approuvée, pour être annexée au présent décret, la table de correspondance des degrés Baumé et des densités dressée par la Commission de Métrologie usuelle et approuvée par le Bureau National des Poids et Mesures et l'Académie des Sciences.

**Art. 7.** — Le Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, le Ministre des Affaires Étrangères, le Ministre de l'Intérieur, le Ministre des Colonies sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 26 juillet 1919.

R. POINCARÉ.

## ANNEXE I

## Tableau général des unités commerciales et industrielles

## Tableau des multiples et sous-multiples décimaux

Puissance de 10 par laquelle est multipliée l'unité.	Préfixe à mettre avant le nom de l'unité.	Symbole à mettre avant celui de l'unité.
10 <sup>6</sup> ou 1.000.000	méga.	M.
10 <sup>5</sup> 100.000	hectokilo.	hk.
10 <sup>4</sup> 10.000	myria.	ma.
10 <sup>3</sup> 1.000	kilo.	k.
10 <sup>2</sup> 100	hecto.	h.
10 <sup>1</sup> 10	déca.	da.
10 <sup>0</sup> 1	»	»
10 <sup>-1</sup> 0,1	déci.	d.
10 <sup>-2</sup> 0,01	centi.	c.
10 <sup>-3</sup> 0,001	milli.	m.
10 <sup>-4</sup> 0,000.1	décimilli.	dm.
10 <sup>-5</sup> 0,000.01	centimilli.	cm.
10 <sup>-6</sup> 0,000.001	micro.	μ.

*Nota.* — Le système dit C. G. S. est basé sur le centimètre, le gramme (masse) et la seconde comme unités principales. — Le système dit M. T. S. est basé sur le mètre, la tonne (masse) et la

UNITÉS COMMERCIALES et INDUSTRIELLES		MULTIPLIÉS et SIMPLIFIÉS USUÉS		OBSERVATIONS		
UNITÉ	DÉFINITION	ÉTALON et REPRÉSENTATION	DÉNOMINATION		VALEUR	
<b>I - Unités géométriques</b>						
Longueur	MÈTRE	Étalon Copie n° 6 du mètre prototype international, déposée au Conservatoire national des arts et métiers	Mégamètre Kilomètre Hectomètre Decamètre	1 000 000 m 1 000 m 100 m 10 m	Base du système M.T.S. Unité principale	
			MÈTRE	m		1 m
			Décimètre	dm		$\frac{1}{10}$ m
			Centimètre	cm		$\frac{1}{100}$ m
			Millimètre Micron Millimicron	mm $\mu$ m $\mu$		$\frac{1}{1000}$ m $\frac{1}{1000000}$ m $\frac{1}{1000000000}$ m
Longueur	Mille marin			1 852 m	S'emploie pour la mesure des longueurs marines	
<b>A titre transitoire</b>						
Superficie	Mètre carré	Superficie contenue dans un carré de 1 mètre de côté	Kilomètre carré	1 000 000 m <sup>2</sup>	S'emploient pour la mesure des surfaces agricoles	
			Hectare	10 000 m <sup>2</sup>		
			Decare	100 m <sup>2</sup>		
			Mètre carré	m <sup>2</sup>		
			Decimètre carré	$\frac{1}{100}$ m <sup>2</sup>		
			Centimètre carré	$\frac{1}{10000}$ m <sup>2</sup>		
			Millimètre carré	$\frac{1}{1000000}$ m <sup>2</sup>		
	Hectare	ha	100 a			
	Are	a	$\frac{1}{100}$ m <sup>2</sup>			
	Centiare	ca	$\frac{1}{10000}$ m <sup>2</sup>			
Volume	Mètre cube	Volume contenu dans un cube de 1 mètre de côté	Kilomètre cube	1 000 000 000 m <sup>3</sup>	Mesures de capacité pour les liquides, céréales et matières pulvérulentes • Le litre, défini par les métrologistes comme étant le volume d'une masse de 1 kilogramme d'eau à 4°C et sous la pression de 76 centimètres de mercure, excède de moins de $\frac{1}{1000000}$ le décimètre cube.	
			Mètre cube	m <sup>3</sup>		
			Decimètre cube	$\frac{1}{1000}$ m <sup>3</sup>		
			Centimètre cube	$\frac{1}{1000000}$ m <sup>3</sup>		
			Millimètre cube	$\frac{1}{1000000000}$ m <sup>3</sup>		
			Hectolitre	hl		100 l
			Decalitre	dal		10 l
			Litre	l		$\frac{1}{1000}$ m <sup>3</sup>
			Decilitre	dl		$\frac{1}{10}$ l
			Centilitre	cl		$\frac{1}{100}$ l
Millilitre	ml	$\frac{1}{1000}$ l ou 1 cm <sup>3</sup>				
	Stère	st	1 m <sup>3</sup>	S'emploient pour le mesurage des bois		
	Decistère	dst	$\frac{1}{10}$ st			
Angle droit	Angle droit	Angle formé par deux droites se coupant sous des angles adjacents égaux.	Angle	D	1 D	• Le symbole ° peut être employé quand la nature de l'unité considérée ne fait pas doute, notamment lorsque l'angle exprime simplement des minutes en même temps que des degrés.
			Degré	gr	$\frac{1}{100}$ D	
			Décigré	dgr	$\frac{1}{1000}$ D	
			Centigré	cgr	$\frac{1}{10000}$ D	
			Milligré	mgr	$\frac{1}{100000}$ D	
			Degré	°	$\frac{1}{100}$ D	
Minut angle	'	$\frac{1}{60}$ D				
Second angle	"	$\frac{1}{3600}$ D				

(1) Centre le mètre de la distance de plus court à l'équateur, distance angulaire du méridien.

UNITES COMMERCIALES et INDUSTRIELLES		MULTI <sup>PLI</sup> ET S/MULTI <sup>PLI</sup> USUELS		VALEUR		OBSERVATIONS
DEFINITION	EQUALITE ET REPRESENTATION	Denominat <sup>ion</sup>	Symbol <sup>e</sup>	VALEUR		
<b>II-Unités de masse</b>						
Masse KILOGRAMME	Masse du prototype international en platine iridié, qui a été soulevé par la conférence générale des Poids et Mesures tenue à Paris en 1889, et qui est déposée au pavillon de Breteuil, à Sèvres (1).	Ecarton Loppe N° 35 du fil de la gomme prototype internationale, déposée au Conservatoire national des Arts et Métiers	1 10 <sup>6</sup> TONNE	t	1 t ou 1000 kg	Base du système M.T.S.
			10 <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> KILOGR <sup>am</sup>	kg	10 <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> kg	
			10 <sup>2</sup> Hectogr <sup>am</sup>	dag	100 10 <sup>2</sup> g	Base du système C.G.S.
			10 <sup>1</sup> Decagr <sup>am</sup>	cg	10 10 <sup>1</sup> g	
			GRAMME	g	1000 10 <sup>0</sup> g	
			Decigr <sup>am</sup>	dg	100 10 <sup>-1</sup> g	
Centigr <sup>am</sup>	cg	10 10 <sup>-2</sup> g				
Milligr <sup>am</sup>	mg	1 10 <sup>-3</sup> g				
		Carat			2 dg	Simple dans le commerce des pierres précieuses.
Densité Densité volumétrique	La densité des corps se mesure en nombre décimal, celle des corps qui se dissolvent dans l'eau se mesure en grammes par litre, celle des liquides en grammes par centimètre cube étant prise comme unité.					L'eau pure à 4° sous la pression d'une colonne de mercure de 76 centimètres de hauteur, a une densité égale à 1 (moins environ).
	Dans les transactions commerciales, le nombre de décimales décimales d'un mélange d'alcool et d'eau pure à la température de 15° correspond au titre volumétrique, suivant l'échelle volumétrique centésimale de J.-L. Lassus, définie à l'art. 1 <sup>er</sup> du décret du 23 dec. 1889.					
<b>III Unités de temps</b>						
Temps Seconde	1/86400 du jour solaire moyen	Jour Heure Minute	J	h	min	86 400 s 3 600 s 60 s
			1	1	1	1
<b>IV Unités mécaniques</b>						
Force Stène	force qui, communiquée à une masse égale à 1 tonne un accroissement de vitesse de 1 mètre par seconde	1 10 <sup>6</sup>	Kilostène	kg st	1000 st	Megastène
			10 <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> Dyno	dyn	10 <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> dyn	
Energie ou Travail Erg	Travail produit par 1 stène dans le poids d'apparition se déplace de 1 mètre dans la direction de la force.	1 10 <sup>10</sup>	Tonnepoids	kg p	9,806 65	1 Kilowatt heure correspond à 3,6 mégajoules
			10 <sup>7</sup> 10 <sup>7</sup> Erg	erg	10 <sup>7</sup> 10 <sup>7</sup> erg	
Energie ou Travail Kilogramme	Travail produit par 1 kilogramme force dont le point d'application se déplace de 1 mètre dans la direction de la force.	1 10 <sup>7</sup>	Kilogramme force	kg f	9,806 65	Le Kilowatt international diffère numériquement très peu du Kilogramme
			10 <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> Joule	J	10 <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> J	
Puissance Kilowatt	Puissance qui produit 1 Kilowatt par seconde	1 10 <sup>3</sup>	Kilowatt	kW	1 kW	Le Kilowatt international diffère numériquement très peu du Kilowatt
			10 <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> Watt	W	10 <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> W	
Puissance Cheval vapeur	Puissance correspondant à 100 Kilogrammes par seconde	1 10 <sup>3</sup>	Ponces	CV	0,98 kW	Le Kilowatt international diffère numériquement très peu du Kilowatt
			10 <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup> Cheval vapeur	CV	0,735 kW	

(1) Comme le kilogramme des Archives, le prototype international du kilogramme est assésé d'environ 27 milligrammes de la masse du décimètre cube d'eau prise à son maximum de densité, de l'échelle première du kilogramme.



UNITES COMMERCIALES et INDUSTRIELLES			MULTI et S/MULTI-USUELS		OBSERVATIONS		
SYMBOL	DEFINITION	ETALON et REPRESENTATION	VAL EN M.L.S.	VAL EN C.S.S.		DE NOMINATION	VALEUR
Pression	Piéze	Pression uniforme qui, répartie sur une surface de 1 mètre carré, produit un effort total de 1 Dyne	1	10 <sup>5</sup>	Myriapiéze	10 000 pi	L'hectapiéze est employé parfois aussi, sous le nom de bar, pour la mesure des pressions barométriques
					Hectapiéze	100 pi	
Kilogr-poids	unité de surface	Pression uniforme qui, répartie sur la surface prise pour unité, produit un effort total de 1 Kilogramme poids	10 <sup>-4</sup>	1	Kilopoids	1000 pi	Unités C.G.S. 1 Mégapye égale 1 mégapne par cm <sup>2</sup> La pression atmosphérique normale de 76 cm de mercure à 0° et sous l'accélération normale de pesanteur (980,665 cm/s <sup>2</sup> ) fréquemment employé aussi comme unité de pression correspond à 1,013 hectapiéze ou à 1,033 Kg poids par cm <sup>2</sup> .
					Barye	$\frac{1}{10000}$ pi	

A titre transitoire

V-Unités électriques							
SYMBOL	DEFINITION	ETALON et REPRESENTATION	VAL EN M.L.S.	VAL EN C.S.S.	DE NOMINATION	VALEUR	OBSERVATIONS
Résistance électrique	Ohm	1 milliardi d'unités de résistance du système électromagnétique C.G.S.	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>	Mégohm	1 000 000 Ω	10 millions d'unités de résistance du système électro-magnétique M.T.S. Unité principale
					Ohm	Ω	
Intensité de courant électrique	Ampère	1 dixième de l'unité de courant du système électromagnétique C.G.S.	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-7</sup>	Kilampère	1 000 A	1 centi-milliardi de l'unité de courant du système électro-magnétique M.T.S. Unité principale
					AMPÈRE	A	
					Mikampère	1/1000 A	
Différence de potentiel électromagnétique	Volt	Différence de potentiel existant entre les extrémités d'un conducteur dont la résistance est 1 ohm, traversé par un courant invariable égal à 1 ampère.	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-8</sup>	Microhm	1/1000 000 Ω	
					Volt	1 V	
					Millivolt	1/1000 V	
Quantité d'électricité	Coulomb	Quantité d'électricité transportée, pendant une seconde, par un courant invariable de 1 ampère.	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-1</sup>	Kilocoulomb	1 000 C	L'ampère-heure vaut 3 600 coulombs
					Coulomb	1 C	

UNITES COMMERCIALES et INDUSTRIELLES			MULTI et S/MULTI-USUELS		OBSERVATIONS		
SYMBOL	DEFINITION	ETALON et REPRESENTATION	VAL EN M.L.S.	VAL EN C.S.S.		DE NOMINATION	VALEUR
VI-Unités calorifiques							
Température	Degré Centésimal	Pour les températures supérieures à 240° Variation de température produisant la centième partie de l'accroissement de pression que subit une masse d'un gaz parfait constant, le volume étant constant, la température surpasse du point 0 degré (température de la glace fondante) au point 100° (température d'ébullition de l'eau), ces deux points répondant aux définitions qu'en ont données les conférences générales des poids et mesures de 1889 et de 1913	1	10 <sup>2</sup>	DEGRÉ CENTES	1°	Unité principale
Quantité de chaleur	Thermie	Quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré centésimal la température d'une masse de 1 gramme d'un corps dont la chaleur spécifique est égale à celle de l'eau à 15° sous la pression de 1,013 hectapiéze (pression atmosphérique normale)	1	10 <sup>4</sup>	Millithermie	1/1000 Th	Pratiquement le microthermie équivaut à 4,18 joules ou à 0,239 Kilogramme-force dans l'étendue de sa définition
					Thermie	1 Th	
					Grande calorie	1/1000 Th	
					Microthermie	1/1 000 000 Th	
					Thermie	1 Th	
					Frigoth	1/1000 Th	Simplex dans les industries frigorifiques

UNITES COMMERCIALES et INDUSTRIELLES		MULT et S/MULT usuels		OBSERVATIONS	
DEFINITION	ETALON et REPRESENTATION	DE NOMINATION	VALEUR		
<b>VII. Unités optiques</b>					
Intensité lumineuse Bougie décimale	Source d'intensité égale à un dixième de celle de l'étalon violet	Étalon Étalon violet, source lumineuse constituée par une aire, égale à celle d'un carré de 1 cm de côté, prise à la surface d'un bain de platine rayonnant normalement à la température de la solidification, conformément aux décisions du Comité international des Poids et Mesures 1955, et du Département des Poids et Mesures de France. Représentation La bougie décimale est représentée pratiquement et d'une manière permanente par une fraction déterminée de la moyenne des intensités moyennes, mesurées perpendiculairement à l'axe du moins cinq des bords à incandescence déposés au Conservatoire national des arts et métiers.	Bougie décimale	hd	Unité principale
	Flux lumineux Lumen	Flux lumineux, émis par une source uniforme, de dimensions infinitésimales petites et d'intensité égale à 1 bougie décimale, et rayonnant, en 1 seconde, dans l'angle solide qui découpe une aire égale à 1 m <sup>2</sup> sur la sphère de 1 m. de rayon, ayant pour centre la source		Lumen	lu
Éclairement Lux	Éclairement d'une surface de 1 m <sup>2</sup> recevant un flux de 1 lumen, uniformément réparti.		Phot Lux	Lx	10 000 Lx 1 Lx
Puissance radiométrique Dioptrie	Puissance d'un système optique dont la distance focale est de 1 mètre		Dioptrie	δ	

**ANNEXE II  
CORRESPONDANCE DES DEGRÉS BAUMÉ<sup>11</sup> ET DES DENSITÉS  
TABLE I**

*Aréomètres pour liquides moins denses que l'eau*

Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS
10,8	1,0000	24,6	0,9118	38,8	0,8375	52,8	0,7746	66,8	0,7204	80,8	0,6738
11	0,9831	25	0,9058	39	0,8327	53	0,7704	67	0,7169	81	0,6703
12	0,9663	26	0,9002	40	0,8279	54	0,7664	68	0,7130	82	0,6671
13	0,9506	27	0,8948	41	0,8233	55	0,7624	69	0,7093	83	0,6641
14	0,9350	28	0,8891	42	0,8185	56	0,7585	70	0,7058	84	0,6610
15	0,9205	29	0,8837	43	0,8139	57	0,7543	71	0,7023	85	0,6580
16	0,9061	30	0,8783	44	0,8093	58	0,7504	72	0,6989	86	0,6552
17	0,8917	31	0,8730	45	0,8048	59	0,7465	73	0,6954	87	0,6524
18	0,8775	32	0,8677	46	0,8004	60	0,7427	74	0,6921	88	0,6497
19	0,8633	33	0,8625	47	0,7959	61	0,7389	75	0,6885	89	0,6467
20	0,8492	34	0,8574	48	0,7916	62	0,7351	76	0,6851	90	0,6438
21	0,8352	35	0,8523	49	0,7873	63	0,7314	77	0,6818		
22	0,8212	36	0,8473	50	0,7830	64	0,7277	78	0,6787		
23	0,8074	37	0,8424	51	0,7788	65	0,7241	79	0,6758		

Densités calculées, avec le module 144 32 par la formule  $D = \frac{144,32}{25 + 2n}$  ou  $D = \text{densité}$   
 $n = \text{degré Baumé}$

**TABLE II  
Aréomètres pour liquides plus denses que l'eau**

Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS	Degrés Baumé	DENSITÉS
0,8	1,0000	12,8	1,0907	24,8	1,1995	36,8	1,3324	48,8	1,4983
1	1,0070	13	1,0990	25	1,2055	37	1,3446	49	1,5141
2	1,0141	14	1,1074	26	1,2119	38	1,3574	50	1,5301
3	1,0212	15	1,1160	27	1,2301	39	1,3703	51	1,5465
4	1,0285	16	1,1247	28	1,2407	40	1,3834	52	1,5633
5	1,0359	17	1,1335	29	1,2515	41	1,3968	53	1,5804
6	1,0434	18	1,1425	30	1,2624	42	1,4105	54	1,5979
7	1,0510	19	1,1516	31	1,2735	43	1,4244	55	1,6158
8	1,0587	20	1,1609	32	1,2848	44	1,4388	56	1,6341
9	1,0665	21	1,1703	33	1,2964	45	1,4531	57	1,6528
10	1,0745	22	1,1799	34	1,3082	46	1,4679	58	1,6719
11	1,0825	23	1,1898	35	1,3203	47	1,4831	59	1,6913

Densités calculées, avec le module 144,32, par la formule  $D = \frac{144,32}{25 - 2n}$  ou  $D = \text{densité}$   
 $n = \text{degré Baumé}$

<sup>11</sup> Ces degrés, couramment employés jusqu'à ce jour pour décrire les densités de certains liquides, ne se rattachent plus à un étalon dans les conditions d'usage. Ils sont donc abandonnés par le Comité international des Poids et Mesures.

## Mesures spéciales usitées dans la marine.

### Mesures de longueur.

Mille géographique de 15 au degré de l'équateur.....	7.420
Lieue de 18 au degré du méridien.....	6.173
Lieue de 25 au degré du méridien.....	4.445
Lieue marine ou géographique de 20 au degré.....	5.556
Mille marin de 60 au degré, ou arc du méridien d'une minute, ou tiers de lieue marine.....	1.852
Brasse, 5 pieds.....	1 <sup>m</sup> ,824
Encâblure nouvelle.....	200 <sup>m</sup> ,000
Encâblure ancienne, 100 toises.....	194 <sup>m</sup> ,904.
Nœud (mesure de vitesse).....	1.852 mètres ou 1 mille à l'heure ou 0 <sup>m</sup> ,5144 par seconde.

### Mesures topographiques.

	Kilomètres carrés.
Lieue marine carrée de 20 au degré.....	30.8642
Mille marin carré de 60 au degré.....	3.4296
Mille anglais carré.....	2.5896
Kilomètre carré.....	0.03240 lieue marine carrée.
	0.29157 mille marin carré.
	0.38612 mille anglais carré.

### Mesures de volume.

Tonneau de jauge.....	2,83 mètres cubes.
-----------------------	--------------------

### Mesures spéciales d'un usage général pour certaines substances.

*Carat.* — Les diamants, pierres précieuses et perles sont évalués par *carats*. Le carat vaut :

En France.....	g.	0,200
En Angleterre et en Allemagne. —		0,2055
En Hollande.....		0,205894
Au Brésil.....	—	0,1922

Il y a lieu de distinguer le *carat poids* et le *carat titre*. Ce dernier représente le 24<sup>e</sup> d'une unité d'or : ainsi l'or à 23 carats contient 23 parties d'or fin et 1 partie d'alliage.

*Once.* — Pour l'or et l'argent, on compte par *onces* (oz) de g. 31,103496 *deniers* (dwt) de 1<sup>sr</sup>,55 et *grains* (grn) de 0<sup>sr</sup>,0647.

*Baril.* — Le pétrole est compté officiellement, en Amérique, par *barils* de 2 gallons (159 litres). Pratiquement, il arrive dans des barils de 50 à 52 gallons.

*Bouteille.* — Le mercure est généralement évalué en *bouteilles* (bottles, flasks, frascos) de kg. 34,65.



## Mesures anglaises.

Abréviations usuelles	Noms systématiques	Valeurs relatives	Valeurs en mesures françaises
<i>Mesures de longueur.</i>			Mètres
In.	Inch ou pouce.....	12 In .....	0.02540
Ft.	Foot ou pied.....	3 Ft.....	0.30479
Yd.	YARD.....	2 Yds.....	0.91438
Fih.	Fathom (brasse).....	5.5 Yds.....	1.82877
"	Pole Rod ou perch.....	4 poles.....	5.02909
"	Chain.....	220 Yds.....	20.11636
"	Furlong.....	1760 Yds.....	201.1636
Mi.	Mile.....	3,454 mi.....	1,609.3088
"	Lieue marine.....		5,558.5525
<i>Mesures de superficie.</i>			Mètres carrés
"	Square inch ou pouce carré.....	144 pouces carrés.....	0.000645
"	Square foot ou pied carré.....	9 pieds carrés.....	0.0929
"	Square yard.....	30 yards carrés.....	0.8361
"	Square pole.....	1216 yards carrés.....	25.292
"	Square rood.....	4840 yards carrés.....	1,011.68
"	Square acre.....		4,046.72
<i>Mesures de capacité.</i>			Litres
"	Gill.....	4 Gills.....	0.1420
Pt.	Pint.....	2 Pts.....	0.5679
Qt.	Quart.....	4 Qts.....	1.1359
Gal.	GALLON.....	2 Gals.....	4.5435
Pck.	Peck.....	4 Pcks.....	9.0869
Bd.	Bushel.....	8 bushels.....	36.3477
"	Quarter.....	5 quarters.....	290.7813
"	Load.....	36 bushels.....	1,453.9065
"	Chaldron.....		1,308.5160
<i>Mesures cubiques.</i>			Mètres cubes
"	Cubic inch, pouce cube.....	1728 pouces cubes.....	0.000016
"	Cubic foot, pied cube.....	27 pieds cubes.....	0.028315
"	CUBIC YARD.....	40 pieds cubes.....	0.764505
"	Tonneau de mer.....		1.1326
<i>Poids.</i>			
1 <sup>o</sup> Mesures dites <i>Troy Weight</i> (non usitées, sauf pour les métaux précieux et la pharmacie).			Grammes
"	Grain.....	24 Grains.....	0.065
"	Penny weight.....	20 Pennyweights.....	1.555
"	Ounce.....	12 Ounces.....	31.103
"	TROY POUND.....		373.233
2 <sup>o</sup> Mesures dites <i>Avoir du poids Weight</i> (mesures usuelles).			Grammes
Dr.	Dram.....	16 Dr.....	1.772
Oz.	Ounce.....	16 Oz.....	28.350
Lb.	AVOIR DU POIDS POUND.....	14 Lb.....	453.593
St.	Stone.....	2 St.....	6,350.297
Qr.	Quarter.....	4 Qr.....	12,700.594
Cwt.	Hundred weight.....	20 Cwt.....	50,802.377
Ton.	Ton.....		1,016.047,541

Outre cette tonne de 1.016<sup>k</sup> (2.240 pounds), il existe une tonne de 907<sup>k</sup> (2.000 pounds), dite short ton, peu usitée en Angleterre, mais d'un emploi général aux Etats-Unis, où elle sert pour exprimer des poids de charbon ; pour les autres masses lourdes (locomotives par exemple), les poids sont

**Principales mesures spéciales à certains pays étrangers.**

Pays	Noms	Valeur
<b>Mesures de longueur.</b>		
Bulgarie .....	<i>archine</i> .....	0 <sup>m</sup> ,67
	<i>pied</i> .....	0,304
Russie .....	<i>archine</i> (unité) .....	0,711
	<i>sagène</i> .....	2,133
	<i>verste</i> .....	1 <sup>km</sup> ,066
Turquie .....	<i>archine</i> .....	0 <sup>m</sup> ,757
	<i>pic archene halebi</i> (soieries et laines) .....	0,685
Chine .....	<i>pic archene indasé</i> (étoffes de coton) .....	0,652
	<i>ying</i> .....	35,80
Indes anglaises .....	<i>cubit ou hant</i> .....	1,828
Japon .....	<i>shaku</i> (unité) .....	0,303
Perse .....	<i>guèze ordinaire</i> .....	0,63
	<i>diraa baladi</i> (tissus) .....	0,58
Egypte .....	<i>diraa minari</i> (architectes) .....	0,75
	<i>kassalah</i> .....	3,55
Haiti .....	<i>aune</i> .....	1,188
<b>Mesures de poids.</b>		
Bulgarie .....	<i>oka</i> .....	1 <sup>kg</sup> ,284
	<i>fount</i> (unité) .....	0,409
Russie .....	<i>poud</i> .....	16,380
	<i>oke</i> .....	1,283
Turquie .....	<i>kantar</i> .....	56,450
Chine .....	<i>picul</i> (100 cattie) .....	60,480
	<i>bazar Maund</i> .....	37,251
Indes anglaises .....	<i>bazar de factorerie</i> .....	33,865
Japon .....	<i>kan</i> (unité) .....	3,750
Perse .....	<i>batman</i> .....	2,970
Egypte .....	<i>kantar</i> .....	44,928
Haiti .....	<i>livre</i> .....	0,489

**Anciennes mesures françaises.**

L'unité de longueur était la *toise*, qui valait 6 *pieds* ; le *pied*, 12 *pouces* ; le *pouce* valait 12 *lignes*, et la *ligne*, 12 *points*.

<i>Mesures de longueur.</i>		<i>Inversement.</i>	
Toise .....	1 <sup>m</sup> ,94903	1 mètre vaut .....	0,513073 toise.
Pied, 1/6 de toise .....	0 <sup>m</sup> ,32483	1 mètre vaut : 3 pieds et 11,296 lig.	
Pouce, 1/12 de pied .....	0 <sup>m</sup> ,02706	<i>Mesures de superficie.</i>	
Ligne, 1/12 de pouce .....	0 <sup>m</sup> ,00225	Toise carrée .....	3 <sup>m</sup> ,7987
		Pied carré .....	0 <sup>m</sup> ,1055

## Monnaies.

*France.* — La loi monétaire du 25 juin 1928 a déterminé que le *franc*, unité monétaire française, est constitué par 65,5 milligrammes d'or au titre de 900 millièmes d'or pur. — Le franc contient donc 0 gr. 05895 d'or pur.

Les pièces d'or seront de 100 francs au titre de 900 millièmes, pesant 6,55 grammes.

Les pièces d'argent seront de 10 et 20 francs au titre de 686 millièmes, pesant 16 et 20 grammes. Leur valeur n'a donc qu'un caractère fiduciaire : elle est respectivement de 1 fr. 40 et 6 fr. 80.

Les jetons de 2 fr., 1 fr., 0 fr. 50 seront remplacés par des jetons de bronze d'aluminium perforés à trauches lisses.

Les billets de 5, 10 et 20 francs n'auront plus cours légal à partir du 31 décembre 1932.

## Monnaies des pays étrangers.

	Francs.
Allemagne.....	Reichsmark (100 pfennigs)..... 6,08
Angleterre.....	Livre sterling (20 shillings)..... 124,21
Autriche.....	Shilling..... 3,59
Belgique.....	Belga..... 3,548
Bulgarie.....	Leva (100 stotinki).....
Danemark.....	Krone (100 ore)..... 6,845
Espagne.....	Peseta (100 centimos)..... 4,925
Finlande.....	Markkaas (100 pennis)..... 0,643
Grèce.....	Drachme (100 lepta)..... 0,351
Hongrie.....	Pingö (100 fillers)..... 0,446
Italie.....	Lire (100 centesimi)..... 1,343
Norvège.....	Krone (100 ore)..... 6,845
Pays-Bas.....	Gulden (100 cents)..... 10,259
Pologne.....	Zloty..... 2,862
Portugal.....	Escudo (100 centavos)..... 27,580
Roumanie.....	Leu (100 bani)..... 4,925
Russie.....	Rouble (100 kopecks)..... 13,132
Suède.....	Krona (100 ore)..... 6,845
Suisse.....	Franc (100 centimes)..... 4,925
Turquie.....	Livre turque (100 piastres).....
Yougo-Slavie.....	Dinar (100 paras)..... 1,921
Chine.....	Taël (100 candaréens).....
Indes anglaises.....	Roppie (16 annas).....
Japon.....	Yen (100 sen)..... 12,722
Perse.....	Kran (20 çahabis).....
Siam.....	Tical (100 satangs ou cents).....
Egypte.....	Livre égyptienne (100 piastres).....
Erythrée.....	Tallero (100 centièmes).....
Ethiopie.....	Tafari (100 centièmes).....
Argentine.....	Peso (100 centavos)..... 10,384
Bolivie.....	Boliviano (100 centavos).....
Brazil.....	Milreis.....
Chili.....	Peso (100 centavos).....
Colombie.....	Peso (100 centavos).....
Costa-Rica.....	Colon (100 centimos).....
Dominicaine.....	Peso (100 centavos).....
Equateur.....	Piastre ou sucre (100 centavos).....
Etats-Unis.....	Dollar (100 cents)..... 25,523
Guatemala.....	Peso (100 centavos).....
Haiti.....	Piastre ou Gourde (100 centièmes).....
Honduras et Salvador.....	Peso (100 centavos).....
Mexique.....	Peso (100 centavos)..... 12,722
Nicaragua.....	Cordoba (100 centavos).....
Panama.....	Balboa (100 centièmes).....
Paraguay.....	Peso (100 centavos).....
Pérou.....	Livre péruvienne (100 dineros).....
Uruguay.....	Piastre (100 centesimos)..... 25,397
Vénézuéla.....	Bolívar (100 centimos).....
Philippines.....	Peso (100 centavos).....



*Mesures agraires.*

MESURES AGRAIRES	côté du carré corres- pondant	VALEUR EN		
		Pieds carrés	Toises carrées	Mètres carrés
Perche des eaux et forêts....	22 pieds	484	13,44	51,07
Arpent des eaux et forêts....	220 pieds	48400	1344,44	5107,20
Perche de Paris.....	18 pieds	324	9,00	34,19
Arpent de Paris.....	180 pieds	32400	900,00	3418,87
Are.....	10 mètres	947,7	26,32	100,00
Hectare.....	100 mètres	94768,2	2632,45	10000,00

## DENSITÉS ET POIDS

### Densités des gaz par rapport à l'air.

Air.....	1,00	Cyanogène.....	1,806
Hydrogène.....	0,0692	Ammoniaque.....	0,59
Oxygène.....	1,1056	Protoxyde d'azote.....	1,614
Azote.....	0,972	Bioxyde d'azote.....	1,037
Chlore.....	2,450	Oxyde de carbone.....	0,968
Gaz des marais, CH <sup>4</sup> .....	0,558	Acide carbonique.....	1,53
Gaz d'éclairage.....	0,399	Acide sulfureux.....	2,27
Hydrogène bicarboné, C <sup>2</sup> H <sup>4</sup> .....	0,98	Acide sulfhydrique.....	1,19

### Densités des vapeurs par rapport à l'air.

Eau.....	0,6235	Chlorhydrate d'ammoniaque..	0,93
Alcool.....	0,794	Brome.....	5,52
Ether.....	0,736	Iode.....	8,71
Acide cyanhydrique.....	0,948	Soufre.....	2,21
Chlore.....	2,45	Phosphore.....	4,42
Chlorure de méthyl.....	1,73	Mercure.....	6,92

### Densités des liquides par rapport à l'eau prise à 4°.

Mercure.....	13,596	Alcool absolu.....	0,794
Brome.....	3,18	Ether.....	0,73
Acide sulfurique monohydraté.....	1,84	Esprit de-bois.....	0,798
Acide azotique fumant.....	1,52	Acide acétique.....	1,06
Acide azotique (NO <sup>3</sup> H).....	1,42	Eau de la mer.....	1,026
Ac. chlorhydrique (HCl, 3H <sup>2</sup> O).....	1,21	Lait.....	1,03
Sulfure de carbone.....	1,26	Vin.....	0,99
Benzine.....	0,899	Huile d'olive.....	0,917
Essence de térébenthine....	0,86	Glycérine.....	1,264

## Densités des solides.

<i>Métaux.</i>			
Aluminium, Al.....	2,56	Gypse en poudre.....	2,27
Argent, Ag.....	10,53	Verre (moyenne).....	2,5
Cuivre, Cu.....	8,92	Cristal.....	3,33
Etain, Sn.....	7,29	Kaolin.....	2,26
Fer, Fe.....	7,84	Porcelaine..... 2,2 à	2,5
Nickel, Ni.....	8,9	Ardoise.....	2,9
Or, Au.....	19,32	Diamant.....	3,52
Platine, Pt.....	21,50	Charbon de bois en poudre.....	1,5
Plomb, Pb.....	11,37	Charbon de chêne (morceaux).....	0,45
Zinc, Zn.....	7,19	Charbon de peuplier.....	0,24
		Poudre à canon.....	0,84
		Caoutchouc, gutta-percha.....	0,98
		Gomme.....	1,3
		Amidon, fécule.....	1,5
		Graisse, beurre.....	0,94
		Cire.....	0,96
		Corps humain (moyenne).....	1,07
<i>Alliages.</i>		<i>Bois.</i>	
Acier.....	7,8	Acajou.....	0,560 à 0,850
Bronze.....	8,4 à 9,2	Acacia.....	0,780 à 0,820
Bronze d'aluminium.....	7,45	Aune.....	0,460 à 0,550
Ferro-nickel.....	8,4	Bouleau.....	0,620 à 0,750
Fonte blanche.....	7,4 à 7,8	Buis de France.....	910
Fonte grise.....	6,7 à 7,1	Buis de Hollande.....	1,320
Laiton.....	7,3 à 8,4	Cèdre du Liban, sec.....	490
Maillechort.....	8,3 à 8,6	Charme.....	0,759 à 0,900
		Châtaignier.....	0,550 à 0,740
		Chêne de démolition.....	0,850
		Chêne blanc.....	610
		Cœur de chêne (60 ans).....	1,170
		Chêne vert.....	983
		Cormier.....	819
		Ebène.....	1,120 à 1,18
		Erable.....	0,560 à 0,640
		Frêne.....	840
		Gaiac.....	1,339
		Hêtre.....	800
		Hêtre (un an de coupe).....	660
		Mélèze.....	540 à 600
		Orme.....	540 à 630
		Peuplier.....	390
		Pin rouge.....	660
		Pin du Nord.....	740
		Platane.....	650
		Poirier.....	700 à 840
		Pommier.....	730 à 800
		Sapin.....	450
		Teak.....	860
		Liège.....	240
<i>Substances diverses.</i>			
Glacé à 0°, H <sup>2</sup> O.....	0,918		
Acide sulfurique.....	1,97		
Chaux, CaO.....	3,15		
Chlorure de potassium, KCl.....	1,98		
Chlorure de sodium, NaCl.....	2,10		
Acide arsénieux, As <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....	3,7		
Sel ammoniac, NO <sup>3</sup> NH <sup>4</sup> .....	1,52		
Nitrate de potasse, NO <sup>3</sup> K.....	2,09		
Nitrate de soude, NO <sup>3</sup> Na.....	2,24		
Peroxyde de fer, Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....	5,12		
Oxyde de zinc, ZnO.....	5,6		
Litharge, PbO.....	9,25		
Minium, Pb <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....	9,07		
Céruse PbCO <sup>3</sup> .....	6,43		
Oxyde rouge de merc., Pb <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....	11,14		
Quartz.....	2,65		
Soufre, S.....	2,07		
Charbon de cornue.....	1,88		
Granit, porphyre, trachyte.....	2,6 à 2,8		
Grès.....	2,20 à 2,65		
Anthracite.....	1,4		
Houille.....	1,3		
Asphalte.....	1,06		
Naphte liquide.....	0,70 à 0,84		
Albâtre et marbres.....	2,7		
Calcaires compacts.....	2,7		

**Table du poids d'un mètre carré de feuille de tôle en fer laminé,  
cuivre rouge, plomb, zinc, étain, argent et aluminium.**

Épaisseur des feuilles	TÔLE	CUIVRE rouge	PLOMB	ZINC	ÉTAIN	ARGENT	ALU- MINIUM
millim.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
1/4	1,947	2,197	2,838	1,715	1,825	2,652	0,675
1/2	3,894	4,394	5,676	3,430	3,650	5,305	1,350
1	7,788	8,788	11,352	6,861	7,300	10,610	2,700
2	15,576	17,576	22,704	13,722	14,600	21,220	5,400
3	23,364	26,364	34,056	20,583	21,900	31,830	8,100
4	31,154	35,152	45,408	27,444	29,200	42,440	10,800
5	38,940	43,940	56,760	34,305	36,500	53,050	13,500
6	46,728	52,728	68,112	41,166	43,800	63,660	16,200
7	54,516	61,516	79,464	48,027	51,100	74,270	18,900
8	62,304	70,304	90,816	54,888	58,400	84,880	21,600
9	70,092	79,092	102,168	61,749	65,700	95,490	24,300
10	77,880	87,880	113,520	68,610	73,000	106,100	27,000
11	85,668	96,668	124,872	75,471	80,300	116,710	29,700
12	93,456	105,456	136,224	82,332	87,600	127,320	32,400
13	101,244	114,244	147,576	89,193	94,900	137,930	35,100
14	109,032	123,032	158,928	96,054	102,200	148,540	37,800
15	116,820	131,820	170,280	102,915	109,500	159,150	40,500
16	124,608	140,608	181,632	109,776	116,800	169,760	43,200
17	132,396	149,396	192,984	116,637	124,100	180,370	45,900
18	140,184	158,184	204,336	123,498	131,400	190,980	48,600
19	147,972	166,972	215,688	130,359	138,700	201,590	51,300
20	155,760	175,760	227,040	137,220	146,000	212,200	54,000

**Numéros et poids des feuilles de zinc laminé.**

NUMÉROS	ÉPAISSEUR en millim.	POIDS au mèt. carr.	NUMÉROS	ÉPAISSEUR en millim.	POIDS au mèt. carr.
	millim.	kilogr.		millim.	kilogr.
10	0,50	3,50	18	1,34	9,38
11	0,58	4,06	19	1,47	10,29
12	0,66	4,62	20	1,60	11,20
13	0,74	5,18	21	1,78	12,46
14	0,82	5,74	22	1,96	13,72
15	0,95	6,65	23	2,14	14,98
16	1,08	7,56	24	2,32	16,24
17	1,21	8,47	25	2,50	17,50

Les feuilles se vendent par longueurs de 2 mètres et par largeurs de 0<sup>m</sup>,50, 0<sup>m</sup>,65, 0<sup>m</sup>,80 et 1 mètre.



**Poids des fers carrés, ronds, depuis 1 millimètre jusqu'à  
105 millimètres de grosseur pour 1 mètre de longueur.**

DIMEN- SIONS			DIMEN- SIONS			DIMEN- SIONS					
FERS carrés			FERS ronds			FERS carrés			FERS ronds		
mil.	kil. gr.	kil. gr.	mil.	kil. gr.	kil. gr.	mil.	kil. gr.	kil. gr.	mil.	kil. gr.	kil. gr.
1	0 008	0 006	36	10 093	7 930	71	39 259	30 846			
2	0 031	0 024	37	10 062	8 377	72	40 373	31 721			
3	0 070	0 055	38	11 246	8 836	73	41 502	32 548			
4	0 125	0 098	39	11 806	9 307	74	42 617	33 508			
5	0 195	0 158	40	12 461	9 791	75	43 806	34 119			
6	0 280	0 220	41	13 092	10 280	76	44 983	35 343			
7	0 382	0 300	42	13 738	10 794	77	46 176	36 280			
8	0 498	0 392	43	14 400	11 314	78	47 382	37 228			
9	0 631	0 496	44	15 078	11 846	79	48 605	38 189			
10	0 779	0 612	45	15 771	12 391	80	49 843	39 162			
11	0 942	0 740	46	16 479	12 948	81	51 097	40 147			
12	1 121	0 881	47	17 204	13 517	82	52 367	41 144			
13	1 316	1 034	48	17 944	14 098	83	53 632	42 154			
14	1 526	1 199	49	18 699	14 692	84	54 952	43 176			
15	1 752	1 377	50	19 470	15 296	85	56 208	44 210			
16	1 994	1 566	51	20 257	15 916	86	57 600	45 256			
17	2 251	1 768	52	21 059	16 546	87	58 947	46 315			
18	2 523	1 982	53	21 876	17 183	88	60 310	47 386			
19	2 811	2 209	54	22 710	17 843	89	61 689	48 469			
20	3 115	2 448	55	23 559	18 510	90	63 088	49 563			
21	3 435	2 698	56	24 423	19 189	91	64 486	50 671			
22	3 769	2 962	57	25 303	19 881	92	65 918	51 791			
23	4 120	3 237	58	26 199	20 584	93	67 358	52 923			
24	4 486	3 525	59	27 110	21 300	94	68 815	54 067			
25	4 868	3 824	60	28 036	22 028	95	70 287	55 224			
26	5 265	4 136	61	28 979	22 769	96	71 774	56 393			
27	5 677	4 461	62	29 937	23 521	97	73 262	57 574			
28	6 106	4 797	63	30 911	24 286	98	74 776	58 644			
29	6 550	5 146	64	31 900	25 063	99	76 305	59 972			
30	7 009	5 507	65	32 884	25 853	100	77 880	61 190			
31	7 484	5 880	66	33 925	26 654	101	79 445	62 420			
32	7 975	6 266	67	34 960	27 468	102	81 026	63 662			
33	8 481	6 664	68	36 012	28 294	103	82 623	64 916			
34	9 003	7 074	69	37 079	29 133	104	84 235	66 133			
35	9 540	7 496	70	38 161	29 983	105	85 863	67 462			

## TABLES DIVERSES.

### Météorologie.

*Hauteur moyenne de la colonne barométrique aux diverses altitudes.*

Altitude.	Hauteur barométr.	Altitude.	Hauteur barométr.
0 mètres	762 millimètres	1.147 mètres	660 millimètres
21 mètres	760	1.269	650
127	750	1.393	640
234	740	1.519	630
342	730	1.647	620
453	720	1.777	610
564	710	1.909	600
678	700	2.043	590
793	690	2.180	580
909	680	2.318	570
1.027	670	2.460	560

### Températures.

Température moyenne de Paris, 10°,7.

La plus basse température connue à Paris a été de — 23°,5 le 25 janvier 1795.

A 0<sup>m</sup>,30, de profondeur dans le sol, les oscillations de température se font peu sentir et, à 1 mètre, elles sont insensibles.

*Thermomètre Réaumur* : le 0° correspond au 0° du centigrade; et le 80° correspond à 100° centigrades; les nombres de degrés sont donc dans le rapport de 4 à 5.

*Thermomètre Fahrenheit* : le 32° correspond au 0° du centigrade, et le 212° à 100° centigrades; en retranchant 32 d'un nombre de degrés Fahrenheit, le nombre restant sera au nombre correspondant de degrés centigrades dans le rapport de 9 à 5.

### Vitesses du son et de la lumière.

*Vitesse du son à la seconde* : 337 mètres dans l'air, 1.435 mètres dans l'eau, 3.500 mètres dans la fonte.

*Vitesse de la lumière à la seconde* : 300.000 kilomètres.

### Pression des vents par mètre carré.

	A la seconde par m. carré.	
Vent frais convenable pour les moulins, vitesse.	7 <sup>m</sup>	6 <sup>k</sup>
Vent très fort.....	15 <sup>m</sup>	30 <sup>k</sup>
Tempête.....	24 <sup>m</sup>	78 <sup>k</sup>
Grand ouragan.....	45 <sup>m</sup>	275 <sup>k</sup>

### Neige.

Une hauteur de neige est l'équivalent en poids d'une hauteur d'eau 10 fois moindre. — Pour 0<sup>m</sup>,25 de neige, c'est donc une surcharge de 25 kilogrammes par mètre carré

**Points de fusion.**

Acier.....	1400°	Fer doux.....	1600°
Alcool absolu.....	-90°	Fonte de fer.....	1250 à 1300°
<i>Alliages :</i>			
1 plomb, 1 étain.....	241°	— aciérée.....	1200 à 1100°
1 plomb, 3 étain.....	186°	— blanche.....	1100°
1 plomb, 5 étain.....	194°	— grise.....	1230°
2 plomb, 9 étain, 1 zinc....	168°	— malléable.....	1300°
<i>Alliage de Darcet :</i>			
1 plomb, 1 étain, 2 bismuth.	93°	Huile d'olive.....	2°, 5
Aluminium.....	650°	Huile de palme.....	29°
Antimoine.....	440°	Iode.....	113°, 5
Argent.....	1040°	Mercure.....	-38°, 5
Arsenic.....	410°	Nickel.....	1452°
Beurre.....	30°	Or.....	1035°
Bismuth.....	265°	Phosphore.....	44°
Bronze.....	900°	Platine.....	1775°
Camphre.....	195°	Plomb.....	335°
Cire blanche.....	68°	Soufre.....	114°
Cobalt.....	1478°	Stéarine.....	61°
Chrome.....	1520°	Sucre de canne.....	160°
Cuivre.....	1093°	Suif.....	33°
Étain.....	226°	Vanadium.....	1720°
		Zinc.....	412°

**Points d'ébullition.**

Acide acétique.....	120°	Essence de térébenthine...	157°
— azotique ordinaire...	86°	Ether sulfurique.....	35°, 5
— carbonique.....	-78°	Huile de lin.....	387°
— chlorhydrique.....	110°	Iode.....	200°
— sulfureux.....	-10°	Mercure.....	357°, 2
— sulfurique(monohyd.)	338°	Nitrobenzine.....	213°
Alcool.....	78°	Pétrole.....	106°
Benzine.....	80°, 4	Phosphore.....	290°
Brome.....	63°	Potasse caustique.....	175°
Camphre.....	215°	Soufre.....	448°
Sel marin saturé.....	108°	Sulfure de carbone.....	46°
Créosote.....	203°	Zinc.....	929°
Eau de mer.....	103°, 7		

**Coefficients de dilatation linéaire.**

Acier.....	0,000012	Fer.....	0,000012
Aluminium.....	0,000023	Fil de fer.....	0,000014
Argent.....	0,000020	Fonte.....	0,000011
Bois de sapin.....	0,000005	Granit.....	0,000008
Briques.....	0,000005	Gypse.....	0,000014
Bronze à canons.....	0,000018	Nickel.....	0,000013
Charbon de bois.....	0,000011	Pierre calcaire à bâtir...	0,000005
Ciment romain.....	0,000014	Plomb.....	0,000029
Cuivre.....	0,000017	Terre cuite.....	0,000005
Cuivre jaune.....	0,000019	Verre.....	0,000009
Étain.....	0,000023	Zinc.....	0,000029



## ALLIANCE NATIONALE pour l'accroissement de la population française.

*Mesures prises par l'État, les Départements, les Communes,  
en faveur des familles françaises et de la natalité.*

**Allocations aux femmes en couches.** — Lois des 17 juin, 30 juillet, 2 décembre 1917 et 24 octobre 1919. — Décret des 17 et 26 décembre 1913. — Articles 22 et 290, 54 et 164 du Code du travail. — Repos et primes d'allaitement.

**Primes à la natalité.** — Décret du 30 avril 1920. — Article 92, loi des finances du 30 avril 1921. — Primes de l'État aux départements et communes instituant des primes de natalité.

**Allocations nationales.** — Loi d'encouragement aux familles nombreuses du 22 juillet 1923. — Allocation annuelle de 360 francs par enfant à partir du quatrième.

**Assistance aux familles nombreuses.** — Lois des 14 juillet 1913 et 30 avril 1926. — Allocation de 270 à 300 francs.

**Service militaire.** — Lois des 31 mars 1928, 27 décembre 1927. — Libération anticipée, fils aîné, sursis. — Allocations aux soutiens de famille.

**Réduction d'impôt.** — Décret du 24 octobre 1926, loi de finances 30 décembre 1928, 29 décembre 1929, loi de finances 30 juin 1923. — Déduction à la base, déduction par enfant.

**Taxe successorale.** — Pas d'application si le défunt laisse deux enfants vivants.

**Droits de mutation par décès.** — Réduction si quatre enfants vivants.

**Déduction sur les donations.** — Droits réduits suivant nombre d'enfants.

**Allocations compensatrices des taxes locales.** — Pour le relèvement des tarifs de l'eau, du gaz, de l'électricité et des transports en commun et des droits d'octroi.

**Réduction sur frais de voyage.** — 30 à 70 0/0 suivant nombre d'enfants vivants.

**Réductions.** — Sur les dépenses dans les stations hydrominérales diurétiques ou thermales.

**Bourses, trousseaux, dégrèvements.** — Dans les Établissements nationaux de bienfaisance. — Décret du 8 janvier 1921. — Attributions faites suivant charges de famille.

**Enseignement.** — Décret 12 février 1926. — Attribution des bourses suivant nombre des enfants vivants, ou remises.

**Pensions aux enfants d'une victime d'un accident de travail suivi de mort.** — Lois des 1<sup>er</sup> avril 1899, 12 avril 1906 et 15 juin 1914.

**Retraites ouvrières et paysannes.** — Loi du 5 avril 1910. — Bonification de 1/10<sup>e</sup> pour tout assuré ayant élevé trois enfants jusqu'à 16 ans.

**Logements.** — Classe ouvrière et prêts aux petits propriétaires, subvention contributions, droit à l'habitation. — Bien de famille, exonérations fiscales.

**Fonctionnaires pères de famille.** — Indemnités, majorations de pensions. — Rapprochement des fonctionnaires mariés. — Age de la retraite, gratuité de l'externat.

**Dotations aux familles nombreuses.** — Cognacq-Jay, Académie française, etc...

**Assurances sociales.** — Loi du 5 avril 1928 et rectificatifs. — Maternité, allaitement, maladies, invalidité. — Vieillesse, décès, pensions d'orphelins, charges de famille. — Allocations et majorations, suivant nombre d'enfants.

Les sommes versées à la famille par l'État, les Départements, les Communes et les caisses de compensation dépassent 2 milliards et demi par an. Pour connaître l'ensemble des mesures dont les familles nombreuses peuvent bénéficier et les conditions à remplir, demander le tract : « Avantages réservés aux familles nombreuses » à l'Alliance nationale pour l'accroissement de la population française, 26, rue du Quatre-Septembre, Paris (2<sup>e</sup>). (*Compte chèques postaux, Paris 152.17*).

Pour obtenir chaque jour davantage il faut être nombreux et unis. Inscrivez-vous. — Faites inscrire vos amis à l'Alliance nationale.

MONTANT DES COTISATIONS

	Cotisations annuelles	Membres à vie. Cotisations de rachat
Membre adhérent.....	8.....	100 francs.
Membre titulaire.....	15.....	300 —
Membre fondateur.....	50.....	500 —
Membre bienfaiteur.....	.....	5.000 —

La cotisation de 8 francs est réservée en principe aux jeunes gens et aux pères de famille nombreux.

Tout membre reçoit la *Revue mensuelle de l'Alliance nationale*,

# EXTRAIT DU CATALOGUE 1930-1931



Voir les conditions de vente page LXIV

## FASCICULE I

# ORGANISATION INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

## I. — ORGANISATION INDUSTRIELLE

- La Technique moderne**, publication bimensuelle illustrée. Ab. annuel France, 125 fr.; Etr., 180 fr. (164 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit). — Le n° de l'année en cours 6 fr.
- La Pratique des Industries mécaniques**, publication mensuelle illustrée. Ab. annuel : France, 52 fr.; Etr., 74 fr. (69 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit). — Le n° de l'année en cours ..... 5 fr.
- Les Nouveaux livres scientifiques et industriels**, publication trimestrielle. Abonnement annuel. Etranger 20 fr. France.... 12 fr.
- La direction des ateliers**, TAYLOR. *Nouv. tir.* 1923 (510 gr.). 31 fr.
- Principes d'organisation scientifique**, TAYLOR. *Edition définitive*, N. T. 1930. In-8° (330 gr.)..... 12 fr.
- Le Taylorisme**, LE CHATELIER. In-8° 1928 (320 gr.)... 20 fr.
- Création, organisation et direction des usines**, MATTERN. In-8° avec figures. 2<sup>e</sup> édition 1926 (590 gr.) ..... 49 fr.
- Organisation industrielle**, CHARPENTIER. 2<sup>e</sup> édition 1927. In-8° (970 gr.)..... 55 fr.
- L'organisation industrielle américaine appliquée aux entreprises européennes**, J. ROMAN. In-8° (500 gr.). 1927... 51 fr.
- L'organisation des approvisionnements dans l'industrie. Achats et magasins**, Ch. LALANDE. In-8° avec fig. 1929 (250 gr.). 28 fr.
- Standards. Le travail américain vu par un ouvrier français**, H. DUBREUIL. In-16, 1929 (315 gr.)..... 18 fr.
- Etude des mouvements**, méthode d'accroissement de la capacité productive d'un ouvrier, GILBRETH. N. T. (190 gr.)..... 16 50
- Etude des mouvements appliquée** GILBRETH (260 gr.). 1921. 20 fr.
- Administration Industrielle et générale**, FAYOL, 1925 (530 gr.). 20 fr.
- Méthodes économiques d'organisation dans les usines**, IZART. In-8°, avec 15 figures. *Nouv. tir.* 1919. (420 gr.)..... 25 fr.
- La sélection psycho-physiologique des travailleurs (conducteurs de tramways et d'autobus)**, LAHY. In-8° 82 fig. 1927. (480 gr.). 48 fr.
- Les examens d'aptitude professionnelle. Théorie et pratique**. F. BAUMGARTEN, traduit par M. THIERS, 1930..... (Sous presse).
- Le moteur humain et les bases scientifiques du travail professionnel**, AMAR, 2<sup>e</sup> édit. 1923, in-8°. (810 gr.)..... 86 fr.
- Les appareils transporteurs mécaniques de bureau**, JACOB. In-8°. 1929. (460 gr.)..... 48 fr.



## II. — ORGANISATION COMMERCIALE

- La technique des affaires**, CHAMBONNAUD, I : *Affaires nouvelles*. 3<sup>e</sup> éd. 1926. (580 gr.), 22 fr. ; II : *Affaires et méthode scientifique*, 3<sup>e</sup> éd. 1928 (580 gr.), 28 fr. ; III : *Affaires et personnel*, 2<sup>e</sup> éd. 1920, (880 gr.), 43 fr. ; IV : *Affaires et art de traiter*, 2<sup>e</sup> éd. 1926. (570 gr.), 26 fr. ; V : *Affaires par correspondance*, 2<sup>e</sup> éd. 1926. (580 gr.). 31 fr. ; VI : *Affaires et l'imprimé*, 1920 (575 gr.), 30 fr. ; VII : *Affaires et l'annonce*. 1921 (885 gr.), 66 fr. ; VIII : *Affaires et l'affiche*, 1922. (730 gr.), 49 fr. ; IX : *Affaires et leur lancement*. 1922. (670 gr.) ..... 36 fr.  
Prix de la collection entière (9 vol.) ..... 285 fr.
- Comment on organise une affaire commerciale**. P. SAVARY. In-8<sup>o</sup>, 1930 (260 g.) ..... 30 fr.
- Comment va mon affaire? Une méthode d'auscultation commerciale**, M. NANCEY. In-8<sup>o</sup>, 1929. (530 gr.) ..... 39 fr.
- La statistique appliquée aux affaires**, ISABEL. 1926. (200 gr.) 20 fr.
- Ce qu'il faut savoir pour exporter**, HORSIN-DÉON. 2<sup>e</sup> éd. 1926. (250 gr.) ..... 28 fr.
- Éléments de commerce**, COUDRAY et MAURE. 1928. (525 gr.). 17 fr.
- Précis de transports commerciaux**. BRUN. I. *Transports sur route, transports par batellerie, transports maritimes, transports par air*. II. *Transports par chemins de fer* ..... (Sous presse).
- L'art de vendre**, CODY et MIS. In-8<sup>o</sup>. *Nouv. tir.* 1927. (420 gr.) 23 fr.
- La représentation commerciale**, SABATIÉ. 4<sup>e</sup> éd. 1929. (375 gr.) 19 fr.
- L'organisation d'un service de vente**. URWICK et ANGÉ. (Sous presse).
- Traité pratique des sociétés commerciales** (aux points de vue comptable, juridique et fiscal). BATARDON. 5<sup>e</sup> éd. 1929. (1.750 gr.). 83 fr.
- Les Sociétés à responsabilité limitée**, POTTIER, 4<sup>e</sup> éd. 1930. (750 gr.) ..... 60 fr.
- Précis intégral de publicité**, GÉRIN. 2<sup>e</sup> éd. 1926. (450 gr.). 30 fr.
- La publicité suggestive**, GÉRIN. 2<sup>e</sup> éd. 1927. In-8<sup>o</sup>. (920 gr.). 77 fr.
- L'art de faire des affaires par lettre et par annonce**, CODY et CHAMBONNAUD. 3<sup>e</sup> éd. N. T. 1930. In-16. (345 gr.) ..... 22 fr.
- Le gouvernement des entreprises commerciales et industrielles**, CARLIOZ. 2<sup>e</sup> éd. 1926. In-8<sup>o</sup>, avec 47 figures. (735 gr.). 55 fr.
- Memento des fondateurs de sociétés**, BATARDON. I : *Sociétés en nom collectif, associations en participation et sociétés à responsabilité limitée*. 6<sup>e</sup> éd. 1928. (70 gr.), 9 fr. ; II : *Sociétés en commandite simple et en commandite par actions*, 5<sup>e</sup> éd. 1926. (130 gr.), 11 fr. ; III : *Sociétés anonymes*. 6<sup>e</sup> éd. 1928. (80 gr.) ..... 10 fr.
- Le style commercial**, MIS, 2<sup>e</sup> éd. *Nouv. tir.* 1926. (320 gr.). 18 fr.
- Dictionnaire français-anglais de la correspondance commerciale**, BOMPAS et METTÉE. In-8<sup>o</sup>, 1919. (810 gr.) ..... 50 fr.

## III. — COMPTABILITÉ ET FINANCES

- Cours de comptabilité**, DUFAYEL. 2<sup>e</sup> éd. 1925. In-8<sup>o</sup>. (600 gr.). 29 fr.
- Cours pratique de Comptabilité**, BATARDON. In-16. I : *Nouv. tirage*. 1930. (520 gr.) 21 fr. ; II : 3<sup>e</sup> éd. 1929. (430 gr.) ..... 21 fr.

<b>La comptabilité à la portée de tous</b> , BATARDON. 5 <sup>e</sup> édit. 1928. (320 gr.).....	16 fr.
<b>Pour tenir sa comptabilité et vérifier ses impôts. A l'usage des commerçants et des artisans.</b> J. TRESPÉUGH, 1930 (165 gr.).	15 fr. 75
<b>Comptabilité commerciale : les procédés modernes, système centralisateur</b> , BATARDON. 4 <sup>e</sup> édit. 1929. (270 gr.).....	12 fr.
<b>Comptabilité commerciale : la tenue des livres sur feuillets mobiles</b> , BATARDON. 3 <sup>e</sup> édit. <i>Nouv. tir.</i> 1927. In-16, 14 fig. (180 gr.).	9 fr.
<b>Notions sommaires de comptabilité industrielle</b> , BATARDON. In-16, 2 <sup>e</sup> édit. <i>Nouv. tirage</i> 1928. (170 gr.).....	11 fr.
<b>Traité pratique de comptabilité industrielle</b> , ANSOTTE et DEFRISE. In-4 <sup>o</sup> , 5 <sup>e</sup> édit. 1922. (470 gr.).....	25 fr.
<b>Comptabilité à résultats mensuels d'une société de distribution d'énergie électrique</b> . DUBOULOZ. In-8 <sup>o</sup> VIII-150 pages, 1930 (300 gr.).....	36 fr.
<b>Précis de comptabilité industrielle appliquée à la métallurgie</b> , BOURNISSEN. In-8 <sup>o</sup> , 2 <sup>e</sup> édit. 1923. (450 gr.).....	28 fr.
<b>L'inventaire et le bilan</b> , BATARDON. 6 <sup>e</sup> édit. 1929. (890 gr.).	55 fr.
<b>Petite méthode graduée pour apprendre à lire un bilan et contrôler des écritures</b> . C. GERSTEN. In-8 <sup>o</sup> , 1929 (210 gr.)..	20 fr.
<b>La gestion des affaires</b> , EDMOND. In-16, 4 <sup>e</sup> édit. 1923. (450 gr.)	31 fr.
<b>Administration financière</b> , QUESNOT. 4 <sup>e</sup> édit. 1930. (910 gr.).	55 fr.
<b>L'organisation du contrôle et la technique des vérifications comptables</b> , J. REISER. In-8 <sup>o</sup> . (420 gr.).....	39 fr.
<b>Simple notions sur les changes étrangers</b> , FAURE. 3 <sup>e</sup> édit. 1927. (190 gr.).....	14 fr.
<b>Traité des opérations de change, bourse, banque</b> . FRANCOIS et HENRY. In-8 <sup>o</sup> , 1929 (650 gr.).....	44 fr.
<b>Organisation bancaire</b> . ALHEING. In-8 <sup>o</sup> , 1928 (210 gr.)..	19 fr.
<b>Comptes faits. Tables des produits</b> , CLAUDEL 1926. (250 gr.).	19 fr.
<b>Tables des carrés et des cubes, des nombres entiers, des longueurs des circonférences, des surfaces des cercles et des expressions trigonométriques</b> , CLAUDEL 1928. (220 gr.).	22 fr.
<b>Barème intégral Morin pour le calcul des paies des ouvriers</b> , 1930 1 <sup>re</sup> partie. 0 fr. 50 à 5 fr. de l'heure. In-8 <sup>o</sup> (535 gr.). Cartononné.....	32 fr.
2 <sup>e</sup> partie. 5 fr. 05 à 10 fr. de l'heure. In-8 <sup>o</sup> (520 gr.). Cartonné.	32 fr.
Les 2 parties réunies (880 gr.).....	60 fr.
<b>Tarif usuel selon le système métrique pour la réduction des bois carrés et en grume</b> , CORDOIN. 26 <sup>e</sup> édit. 1929. (150 gr.).	14 fr.

#### IV. — ÉCONOMIE. — LÉGISLATION

<b>Précis de législation usuelle et commerciale</b> , ANGLÈS et DUPONT. In-16, 4 <sup>e</sup> édit. 1927. (540 gr.).....	18 50
<b>Précis de législation ouvrière et industrielle</b> , DUPIN, DESVAUX et PENCIOLELLI. In-16, 2 <sup>e</sup> édit. 1925. (510 gr.).....	22 fr.
<b>La protection légale des dessins et modèles</b> , CHABAUD. 1913 (790 gr.).....	25 fr.
<b>Précis de brevetabilité. Essai de présentation mathématique de la brevetabilité</b> , A. PICARD. In-8 <sup>o</sup> . 1928. (1.230 gr.).....	50 fr.

<b>Les salaires ouvriers et la richesse nationale</b> , BAYLE. <i>Nouv. tirage</i> 1919. (570 gr.).....	19 50
<b>Les meneurs et la question des salaires dans l'industrie textile.</b> DELVOYE. In-16. 1928. (200 gr.).....	15 fr.
<b>Formules de salaires</b> , PAINVIN. 1921. (80 gr.).....	5 50
<b>Comment établir les salaires de demain</b> , DANTY-LAFRANCE. <i>Nouv. tirage</i> 1919. (120 gr.).....	7 fr.

## V. — HYGIÈNE

<b>Cours d'hygiène générale et industrielle</b> , BATAILLER et TRESPONT. In-16, avec 148 figures. <i>Nouv. tir.</i> 1928. (610 gr.).....	13 fr.
<b>Organisation et Hygiène sociales</b> , <i>Essai d'homiculture</i> , AMAR. In-8 <sup>o</sup> , avec 110 fig. 1927. (1.190 gr.).....	126 fr.
<b>Applications de la biologie à l'art de l'ingénieur</b> , IMBEAUX. In-8 <sup>o</sup> . 1922. (400 gr.).....	23 50
<b>Hygiène et secours et premiers soins à donner aux malades et aux blessés</b> , NOIR. In-16, avec 79 fig. 1896. (590 gr.)...	33 50

## FASCICULE 2

# ENSEIGNEMENT GÉNÉRAL et PROFESSIONNEL

<b>Orientation professionnelle des jeunes gens et jeunes filles</b> , MOUVET. In-8 <sup>o</sup> . 1928. (450 gr.).....	20 fr.
---	--------

## I. — MATHÉMATIQUES

<b>Cours d'arithmétique</b> , PHILIPPE et DAUCHY. 3 <sup>e</sup> édit. 1929. (540 gr.).	25 fr.
<b>Problèmes et exercices d'arithmétique, avec solutions</b> , PHILIPPE et DAUCHY. 2 <sup>e</sup> édit. 1924. (500 gr.).....	25 fr.
<b>Éléments d'arithmétique commerciale suivis de notions d'algèbre financière, à l'usage des Ecoles de commerce.</b> P. PHILIPPE. In-8 <sup>o</sup> , VIII-372 p. 1930 (475 gr.).....	22 fr. 50
<b>Éléments d'algèbre</b> , PHILIPPE et DAUCHY, 3 <sup>e</sup> édit. 1925. (440 gr.).	19 fr.
<b>Cours de géométrie</b> , PHILIPPE et FROUMENTY. In-16, 1925. I : 374 fig. 2 <sup>e</sup> édit. 1925. (360 gr.), 15 fr. ; II : 2 <sup>e</sup> édit. 1928 (490 g.)	20 fr.
<b>Notions élémentaires de géométrie descriptive appliquée au dessin</b> , HARANG et BEAUFILS. 5 <sup>e</sup> édit. 1928, 142 fig. (275 gr.).	9 75
<b>Géométrie descriptive (candidats A. et M.)</b> , HARANG. 3 <sup>e</sup> édit. 1929. (185 gr.).....	10 fr.
<b>Trigonométrie</b> , HARANG. In-16, 113 fig. 2 <sup>e</sup> édit. 1926. (220 gr.)	11 fr.
<b>Trigonométrie rectiligne</b> , par DORGEOT. 1920. (290 gr.)..	19 fr.
<b>Cours préparatoire de mathématiques spéciales, Algèbre et trigonométrie</b> , WEBER. In-8 <sup>o</sup> . 1925, (1.010 gr.).....	50 fr.
<b>Mathématiques</b> IRIS LILLIAD Université Lille 1660 gr.)..	42 fr.



- Les mathématiques après l'école primaire, TRIPARD. 2<sup>e</sup> édit. 1922.**  
 (460 gr.) ..... 15 fr.
- Les mathématiques de l'ouvrier moderne, VEZO. In-16. 3 vol.**  
 Tome I : *Arithmétique, Algèbre*, 21 fig. 2<sup>e</sup> édit. 1927. (375 gr.).  
 13 fr. — Tome II : *Géométrie*, 575 fig. 2<sup>e</sup> édit. 1926. (410 gr.). 12 fr.  
 — Tome III : *Mécanique*. 233 fig. 1926. (325 gr.) ..... 14 fr.
- Le calcul intégral et différentiel à la portée de tout le monde,**  
 THOMPSON et GÉRARD. In-16, 3<sup>e</sup> édit. 1924. (470 gr.) ..... 35 fr.
- Le calcul intégral facile et attrayant, BESSIÈRE. In-16, 2<sup>e</sup> édit.**  
 1929. (255 gr.) ..... 15 fr.
- Le calcul des probabilités à la portée de tous, HALBWACHS et FRÉ-**  
**CHET. In-16. avec fig. 1924. (500 gr.) ..... 29 fr.**
- La relativité vue simplement. G. BESSIÈRE. In-16, 1930**  
 (195 gr.) ..... 15 fr.
- La pratique des abaques, JAMIN. Gr. in-8<sup>o</sup>. 1923. (650 gr.) . 28 fr.**

## II. — DESSIN

- Carnet d'atelier. A l'usage des Ecoles primaires supérieures et des**  
**diverses écoles professionnelles, J.-M. VALMALETTE. In-8<sup>o</sup>, 1925.**  
 (125 gr.) ..... 4 fr.
- Travaux graphiques, JAULIN, avec 739 fig. 1909. (650 gr.) . 42 fr.**
- Traité de dessin géométrique, HAULT. Tome I : Perspective conique**  
 (partie élém.) avec atlas de 11 pl. 1920. (310 gr.), 15 fr.; Tome II :  
*Perspective conique*, avec atl. de 21 pl. 1921. (540 gr.) ..... 25 fr.
- Cours de dessin industriel, DUPUIS et LOMBARD. I : Introduction.**  
 395 fig. et 3 pl. 2<sup>e</sup> édit. *Nouv. tir.* 1928. (480 gr.), 15 fr. 50; II :  
*Technique*, 280 fig. et 20 pl. 2<sup>e</sup> édit. *Nouv. tirage* 1929 (440 gr.).  
 15 fr.; III : *Planches d'exécution* de 32 pl. 2<sup>e</sup> édit. 1924. (420 gr.). 18 fr.
- Technique du croquis et du dessin industriel, MAREC. 3<sup>e</sup> édit.**  
 1926. In-4<sup>o</sup>, avec 260 fig. et 4 pl. (420 gr.) ..... 25 fr.
- Traité pratique de dessin industriel, MARTIN. 4<sup>e</sup> édit. 1924.**  
 (330 gr.) ..... 30 fr.
- Pour le dessinateur, DE THELLESME. (240 gr.) . 1925. .... 16 50**
- Le dessin et la composition décorative appliqués aux industries**  
**d'art, COUTY. In-16, avec 462 fig. *Nouv. tir.* 1922. (420 gr.) . 24 fr.**

## III. — PHYSIQUE

- Physique (classes de Spéciales), BOLL et FÉRY. Tome I : Optique 1927.**  
 19 fr. 50; Tome II : *Chaleur, gaz, changements d'états, électricité,*  
*magnétisme*, 1929. (720 gr.) ..... 38 50
- Précis de physique, BOLL et FÉRY. 2<sup>e</sup> édit. *refondue*. In-8<sup>o</sup>. Tome I :**  
*Statique, dynamique, pesanteur, hydrostatique, optique*, 1927. (600 gr.),  
 40 fr.; Tome II : *Chaleur, gaz, changements d'états, électricité, magné-*  
*tisme*, 1927. (720 gr.) ..... 38 50
- Cours de physique générale, OLLIVIER. I : In-8<sup>o</sup>, avec 408 fig.**  
 3<sup>e</sup> édit. 1927, 84 fr.; II : In-8<sup>o</sup>, avec 149 fig. 3<sup>e</sup> édit. 1929. (1.310 gr.),  
 63 fr.; III : In-8<sup>o</sup>, avec fig. 2<sup>e</sup> édit. 1923. (1.400 gr.) ..... 63 fr.
- Mécanique et physique à l'usage des candidats aux écoles**  
**d'Arts et Métiers, GOUARD et HIERNAUX. 1929. (690 gr.) . 36 fr.**
- Notions de physique (section commerciale), CHAPPUIS et JACQUET.**  
 In-16, avec 110 fig. (258 gr.) ..... 16 fr.

**Éléments de physique** (section industrielle), CHAPPUIS et JACQUET.  
In-16, avec 376 fig., 7<sup>e</sup> édit. 1927. (390 gr.)..... 17 fr.

**IV. — CHIMIE** (voir pages XLVIII et suivantes.)

**V. — MÉCANIQUE** (voir pages XL et suivantes.)

**VI. — ÉLECTRICITÉ** (voir pages XLV et suivantes.)

### VII. — FRANÇAIS, HISTOIRE ET GÉOGRAPHIE

**Les lectures de la profession**, A. et F. FRANCHET. 2<sup>e</sup> édit. 1928.  
(320 gr.) ..... 11 50

**La culture générale des jeunes gens se destinant à l'industrie**,  
A. FRANCHET et L. FRANCHET. In-16, 1921. (370 gr.) ... 13 fr.

**Morceaux choisis des meilleurs auteurs français des XVII<sup>e</sup>, XVIII<sup>e</sup>  
et XIX<sup>e</sup> siècles**, L'ÉRIÉ et CHÉPIN. 2<sup>e</sup> édit. 1925. (160 gr.)..... 20 fr.

**Le français, l'histoire et la géographie**, GRIGAUT. 1917. (290 gr.)  
8 fr.

**La composition française, l'histoire et la géographie, aux examens  
des Ecoles d'A. et M.**, GRIGAUT. 1924. (110 gr.).... 6 fr.

**Cours d'histoire contemporaine**, RISSON et MOUSSET. I : *La France  
de 1789 à 1848*. 2<sup>e</sup> édit. *Nouv. tirage*. 1924. (230 gr.), 13 fr.; II : *La  
France et le monde de 1848 à 1925. Instruction civique*. 4<sup>e</sup> édit. 1925.

(420 gr.) ..... 18 fr.

**Cours de Géographie commerciale**, BERTRAND, 2<sup>e</sup> édit. *mise à  
jour d'après les derniers traités*. 1925. (450 gr.) ..... 21 fr.

**Géographie générale et économique**, GRIGAUT. 1926. (450 gr.) 20 fr.

**Collection des grands ports français** (voir p. LIX).

### VIII. — STÉNOGRAPHIE

**Sténographie** (système Prévost-Delaunay), JULIEN. 2<sup>e</sup> édit. 1926.  
(450 gr.) ..... 16 fr.

**Cours progressif de sténographie**, ZRYD. 1918. (420 gr.)... 14 fr.

**Sténographie**, 20 devoirs (système Prévost-Delaunay). DEROUIN.  
(270 gr.). 1919 ..... 11 fr.

**Adaptation phonétique à l'anglais**, THIÉBAULT. 3<sup>e</sup> édit. 1922.  
(100 gr.) ..... 6 fr.

**Adaptation phonétique à l'espagnol**, POSTIF. 1920. (130 gr.)... 8 fr.

### IX — LANGUES ÉTRANGÈRES

**Je lis l'anglais**, CHAMBONNAUD. In-8<sup>o</sup>. 1919. (230 gr.).... 8 fr.

**Fred and Maud at home** (1<sup>er</sup> livre d'anglais), CHAMBONNAUD et  
TEXIER. 3<sup>e</sup> édit. *Nouv. tir.* 1926. (370 gr.)..... 19 fr.

**Fred and Maud across the Channel** (2<sup>e</sup> livre d'anglais), CHAM-  
BONNAUD et TEXIER. 2<sup>e</sup> édit. *Nouv. tir.* 1926. (350 gr.).... 16 fr.

**Fred and Maud round the World** (cours supérieur d'anglais usuel),  
CHAMBONNAUD et TEXIER. In-16, avec fig. 1917. (380 gr.)... 13 fr.

**Business english** (*anglais commercial*), CHAMBONNAUD et TEXIER,  
1926. (400 gr.) ..... 21 fr.

**L'anglais commercial et industriel**, DELOGE et VAN GORP. 4<sup>e</sup> édit.  
1928. (410 gr.) IRIS - LILLIAD - Université Lille 1 ..... 21 fr.

<b>Formulaire français-anglais de correspondance commerciale.</b> GILLY. 1927. (240 gr.).....	16 fr.
<b>Primer curso de lengua castellana, LOURTAU. 2<sup>e</sup> édit. <i>Nouv. tir.</i></b> 1925. (250 gr.).....	12 fr.
<b>Segundo curso de lengua castellana, LOURTAU. 1912. (540 g.)</b>	15 fr.
<b>Vade-mecum espanol del comerciante, LOURTAU et ARIZMENDI.</b> In-16, avec fig. et pl. 2 <sup>e</sup> édit. 1920. (390 gr.).....	21 fr.
<b>Cours d'allemand commercial, MERESSE. 2<sup>e</sup> éd. 1925. (230 gr.)</b>	18 fr.

## FASCICULE 3

## MÉCANIQUE ET MACHINES

## I. — GÉNÉRALITÉS

<b>Cours de résistance des matériaux : Application au calcul des éléments de machines, BONHOMME. In-8<sup>o</sup>. 461 fig. 1919. (1.510 gr.)</b>	98 fr.
<b>Comment tenir compte des chocs dans les calculs pratiques de résistance des matériaux, par JANNIN. In-8<sup>o</sup>. 1925. (490 g.)</b>	49 fr.
<b>La mécanique appliquée, théorique, numérique et graphique, DORGEOT. In-4<sup>o</sup>, avec 617 fig. 1918. (1.740 gr.).....</b>	108 fr.
<b>Cinématique théorique et appliquée, DORGEOT. 1919. (1.020 gr.)</b>	77 fr.
<b>Les machines motrices, DAUCHY et JACQUET. 1925. (480 gr.)</b>	22 fr.
<b>Cours élémentaire de mécanique industrielle, GOUARD et HIERNAUX. I, 414 fig. 4<sup>e</sup> éd. 1930. (480 gr.), 22 fr. 50; II, 327 fig. 2<sup>e</sup> éd. <i>Nouv. tir.</i> 1925, (440 gr.), 22 fr. 50; III, 196 fig. 3<sup>e</sup> éd. 1928, (320 gr.)</b>	15 fr.
<b>Mécanique, hydraulique, thermodynamique, DARIÈS. 2<sup>e</sup> édit. 1906. (920 gr.).....</b>	55 fr.
<b>Principes généraux de thermodynamique, MONTEIL. 1920. (410 gr.).....</b>	25 fr.
<b>Études sur la chaleur, ROSZAK. In-8<sup>o</sup>. 1925 (610 gr.).....</b>	50 fr.
<b>Nouvelles études sur la chaleur, ROSZAK et VÉRON. In-8<sup>o</sup>, avec fig. 1929. (1.450 gr.).....</b>	208 fr.
<b>La transmission de la chaleur, TEN BOSCH, traduit d'après la 2<sup>e</sup> édit. allemande, par P. L. In-8<sup>o</sup>. 1929. (690 gr.)....</b>	83 fr. 50
<b>Précis de technologie mécanique, FLEURY. 2<sup>e</sup> édit. 1929 (700 gr.)</b>	50 fr.
<b>Des mécanismes élémentaires, LOCHE. 395 fig. 1919. (320 g.)</b>	28 fr.
<b>Théorie simplifiée des mécanismes élémentaires, LOCHE. 1920. (270 gr.).....</b>	19 fr.
<b>Les essais de machines, ROYDS, trad. par B. GIRAUD. 1925. (1.310 g.)</b>	98 fr.
<b>La pratique des essais de machine, BOYER-GUILLON. 1927. (630 gr.)</b>	67 fr.
<b>Le contrôle de la dureté des métaux dans l'industrie. P. ROUDIÉ, 1930 (325 gr.).....</b>	26 fr.
<b>Aide-mémoire de l'ingénieur-mécanicien, IZART. 5<sup>e</sup> édition 1928. (1.600 gr.) IRIS - LILLIAD - Université Lille 1.....</b>	105 fr.



<b>Guide pratique de l'ouvrier mécanicien.</b> WALKER-HAPPICH. In-16. 303 fig. 1927. (560 gr.).....	40 fr.
<b>Guide pratique d'atelier,</b> PERDRIAT. 1921. (170 gr.).....	24 fr.
<b>Manuel du mécanicien,</b> MAILLOT. 3 <sup>e</sup> éd. N. t. 1924. (240 gr.).....	16 fr.
<b>Mécanique. Formulaire d'Atelier,</b> ADAM. 1927. (125 gr.).....	10 50
<b>Pour le monteur mécanicien,</b> A. LEFÈVRE. 1929. (205 gr.).....	18 fr.
<b>Pour l'ajusteur mécanicien,</b> A. LEFÈVRE. 2 <sup>e</sup> éd. 1928. (208 gr.).....	17 25
<b>Pour le contremaître industriel,</b> A. LEFÈVRE. 1926. (175 gr.).....	16 50
<b>Carnet d'atelier. Exercices gradués d'ajustage à l'usage des cours d'apprentissage, des Ecoles et des cours professionnels,</b> A. MARQUET. In-4 <sup>o</sup> . 1929. (220 gr.).....	16 fr.
<b>Carnet d'atelier, à l'usage des Ecoles primaires supérieures et des écoles professionnelles,</b> J.-M. VALMALETTE. 1929. (125 gr.).....	4 fr.
<b>Le travail manuel des métaux : forge, chaudronnerie, ajustage,</b> HOUA. In-16, 192 fig. 1923. (220 gr.).....	12 fr.
<b>Manuel de traçage dans la chaudronnerie et la charpente en fer,</b> HERMANN et DEYSINE. 1924. (210 gr.).....	20 fr.
<b>Traçage des constructions métalliques et de chaudronnerie,</b> BOTTIEAU. 2 vol. 1926. (770 gr.).....	61 fr.
<b>Aide-Mémoire du constructeur de chaudronnerie.</b> L. GENDRON. In-8 <sup>o</sup> , 1930 (280 gr.).....	35 fr.
<b>Pour le chaudronnier,</b> TUROT-LEDOUX. In-16. 1929. (260 gr.).....	19 50
<b>Formulaire du tôlier-chaudronnier,</b> ADAM. 1929. (155 gr.).....	12 50
<b>Aide-mémoire de l'ouvrier mécanicien,</b> JACQUET. 2 <sup>e</sup> édit. 1920. (300 gr.).....	21 fr.
<b>Recueil d'essais d'ajustage,</b> LE COZLER. 1925. (360 gr.).....	22 fr.
<b>Le petit outillage moderne du mécanicien,</b> JACQUET. 2 <sup>e</sup> édit. 1927 (190 gr.).....	12 fr.
<b>Le contremaître mécanicien,</b> LOMBARD et CAEN. 2 <sup>e</sup> édit. 1925. (660 gr.).....	42 fr.
<b>Les engrenages. Calcul. Rendement. Exécution. Applications à l'automobile,</b> R. MIGNÉE. In-8 <sup>o</sup> , avec fig. 1929. (550 gr.).....	62 fr.
<b>Les ressorts,</b> REYNAL. In-16. 2 <sup>e</sup> édit. 1927. (160 gr.).....	20 fr.
<b>Recueil de graphiques,</b> C. REYNAL, 16 pl. 1924. (430 gr.).....	35 fr.
<b>Etude sur les courroies de transmission,</b> CARLIER. 1923. (130 gr.).....	14 fr.
<b>Comment utiliser au mieux les courroies de transmission,</b> GUILLOU. In-16. 2 <sup>e</sup> édit. 1929 (190 gr.).....	8 fr.
<b>La pratique du graissage,</b> THOMSEN et CHAILLOU. 1925. (1.500 gr.).....	119 fr.

## II. — CHAUDIÈRES ET MACHINES A VAPEUR

<b>Chaudières à vapeur,</b> DEJUST et TURIN. 2 <sup>e</sup> édit. 1919. (960 g.).....	71 50
<b>Cours pratique de chauffe et de chaudières industrielles,</b> JOLLY. In-16, avec 276 fig. 1928. (470 gr.).....	32 fr.
<b>La chaufferie moderne. Alimentation des chaudières et tuyauteries à vapeur,</b> GUILLAUME et TURIN. 2 <sup>e</sup> édit. 1921. (860 gr.).....	53 fr.
<b>La chaufferie moderne. Les foyers de chaudières,</b> TURIN. 484 fig. 2 <sup>e</sup> édit. 1925. (1.060 gr.).....	91 fr.
<b>Méthodes économiques de combustion dans les chaudières à vapeur,</b> IZART, 115 fig. 4 <sup>e</sup> édit. 1920. (1.000 gr.).....	56 fr.

- La vapeur à très haute pression.** F. MUNZINGER, traduit d'après l'édition allemande par A. SCHUBERT, 1930 (525 gr.) . . . . . 62 fr.
- Machines à vapeur et machines thermiques diverses,** DEJUST, et DOZOUL, 440 fig. 2<sup>e</sup> édit. 1925. (810 gr.) . . . . . 68 fr.
- Cours de machines à vapeur,** JOLLY. 350 fig. 1924. (470 gr.). 48 fr.
- L'aptitude élastique des tuyauteries de vapeur au point de vue dilatation,** H. CARLIER. In-8°. 76 fig. 1928. (300 gr.) . . . . . 45 fr.
- Législation et contrôle des appareils à vapeur,** CUVILLIER. 1928. (480 gr.) . . . . . 44 fr.
- Turbines à vapeur et à gaz,** A. STODOLA, trad. par E. HAHN. 2 vol. avec 1.138 fig. et 6 planches. 2<sup>e</sup> édit. 1925. (4.500 gr.) . . . . . 445 fr.
- Diagramme de Mollier,** STODOLA et HAHN. 3 pl. 1926. (210 gr.) 25 fr.
- Les turbines à vapeur,** GOUDIE et GIRAUD. 1921. (1.550 gr.). 84 fr.
- Incidents de fonctionnement des machines à vapeur,** HAMKENS. In-16, avec 276 figures. 1921. (400 gr.) . . . . . 35 fr.

### III. — MACHINES ET TURBINES HYDRAULIQUES POMPES, COMPRESSEURS

- Cours d'hydraulique théorique,** MONTEIL. 1919. (310 gr.). 21 fr.
- Machines hydrauliques,** BERGERON. 1928. (1.120 gr.) . . . 105 fr.
- Les turbines hydrauliques et les turbo-pompes,** R. THOMANN. Traduit par P. ILTIS. In-8°, avec 147 fig. 1924. (790 gr.). 49 fr.
- Les turbines hydrauliques à grand débit,** DE MORSIER. 1920. (220 gr.) . . . . . 16 50
- Les pompes centrifuges,** C. PFLEIDERER, traduit par BERGERON In-8° avec fig. 1929. (960 gr.) . . . . . 121 fr.
- Les ventilateurs.** WIESMANN, trad. par PELET. 1927. (540 gr.). 48 fr.

### IV. — MOTEURS A GAZ, DIESEL, etc.

- Les moteurs à gaz,** HAEDER et VARINOIS, tome I, 4<sup>e</sup> édit. 1925. (590 gr.). 56 fr.; tome II. 4<sup>e</sup> édit. 1925. (820 gr.) . . . . . 70 fr.
- Cours élémentaire à l'usage des monteurs et conducteurs de moteurs à gaz,** GUILLOU. In-16, 27 fig. 1920. (900 gr.) . . . 21 fr.
- Cours de moteurs industriels à combustion interne,** JOLLY. In-16, avec 184 fig. 1920. (390 gr.) . . . . . 24 fr.
- Théorie succincte, conduite et entretien du moteur Diesel,** LE GALLOU. In-8°, avec 145 fig. 2<sup>e</sup> édit. 1925. (1.090 gr.) . . . . . 53 fr.
- Les moteurs à huile lourde, à injection directe (semi-Diesel),** LE GALLOU. In-8°, 113 fig. 1924 (920 gr.) . . . . . 59 fr.
- Les moteurs Diesel et les moteurs semi-Diesel,** VAILLOT, 2 vol. In-4°, avec 1.050 fig. et 29 pl. 1923. (4.290 gr.) . . . . . 339 fr.

### V. — MACHINES-OUTILS ET APPAREILS DE LEVAGE

- Les machines-outils pour le travail des métaux,** JACQUET. In-8°, avec 173 fig. 1922. (220 gr.) . . . . . 17 fr.
- Les scieries et les machines à bois,** RAZOUS. 2<sup>e</sup> édit. 1926. (790 gr.). 44 fr.
- L'usinage du bois,** PETIPAS. In-8°. 35 fig. 1923. (620 gr.) . . 39 fr.
- Cours de technologie du bois,** MASVIEL. Tome I : 338 fig. 3<sup>e</sup> édit. 1926. (520 gr.), 23 fr.; Tome II, 2<sup>e</sup> édit. 1925. 286 fig. (610 gr.) 27 fr.
- Le sciage des métaux,** COIRON. In-4°. 1922. (1.870 gr.). 126 fr.
- La taille des métaux,** TAYLOR et DESCROIX. N. f. 1919. (920 gr.). 44 50

- Les broches à mandriner et le mandrinage à la broche**, VIALLE et VARINOIS. In-8°. 1922. (520 gr.)..... 42 fr.
- Montages d'usinage et outils spéciaux**, COLVIN et HAAS. In-8°, avec 39 fig. 1920. (420 gr.)..... 39 fr.
- Manuel de l'ouvrier tourneur et fileteur**, LOMBARD. 5<sup>e</sup> édit. 1926. (250 gr.)..... 18 fr.
- Guide du tourneur-décolleteur**, ADAM. In-16. 1927. (160 gr.). 12 fr.
- Manuel du tourneur-mécanicien**, ADAM. In-8°. 9<sup>e</sup> édit. 1930. (135 gr.)..... 10 fr. 50
- Pour le tourneur et le conducteur de machines-outils**, LEFÈVRE. In-16. 1928. (290 gr.)..... 19 50
- Guide pratique de mécanique, filetage et taillage**, BOUDOT. In-16. 4<sup>e</sup> édit. 1928. (110 gr.)..... 8 fr.
- Le fraisage**, VARINOIS. In-8°, 586 fig., 2<sup>e</sup> édit. 1923. (1.560 gr.) 126 fr.
- Le fraisage**, HANEN. In-8°, 82 fig. 2<sup>e</sup> édit. 1920. (210 gr.).. 16 50
- L'emboutissage**, GIANOLI. In-8°, 224 fig. et 3 pl. 1920. (570 gr.) 49 fr
- Poinçons et matrices**, STANLEY et VARINOIS. 1923. (1.020 gr.). 85 fr.
- Découpage, matricage, poinçonnage et emboutissage**, WOODWORTH traduit par J. LÉVY. In-8°, VIII-375 p. 2<sup>e</sup> édit., 1930 (690 gr.)..... 56 fr.
- Outils à découper et à emboutir**, V. RICORDEL. in-16, 2<sup>e</sup> édit. 1929. (180 gr.)..... 24 fr.
- L'outillage américain pour la fabrication en série**, WOODWORTH et VARINOIS. 2<sup>e</sup> édit. *Nouv. tir.* 1920. In-8°, 601 fig. (910 gr.). 70 fr.
- Le travail à la meule dans la construction mécanique**, COLVIN et VARINOIS. In-8°, 286 fig. *Nouv. tir.* 1920. (970 gr.)..... 67 fr.
- La rectification des pièces mécaniques**, GUÉNARD. In-8°, avec fig. 1929. (480 gr.)..... 52 fr.
- L'air comprimé ou raréfié, sa production, ses emplois**, R. CHAMPLY. In-8°, avec fig. 1929. (690 gr.)..... 74 fr.
- Mécanique, électricité et construction appliquées aux appareils de levage**, ROUSSELET. Gr. in-8°. I : *Les ponts roulants actuels.* 286 fig. et 11 pl. 2<sup>e</sup> édit. 1921. (2.220 gr.), 133 fr.; II : *Les ponts roulants à treillis et les grues à portiques actuels.* 2<sup>e</sup> édit. 1929. (2.590 gr.)..... 178 fr.  
Tome III. *Les grues terrestres et flottantes.* (*En préparation*).
- Appareils de levage**, PACORET. 2 vol. in-8°. Tome I : 460 fig. 1922. (1.500 gr.). 114 fr.; Tome II : 19 fig. 1922. (450 gr.)..... 36 fr.
- VI. — MACHINES MARINES**
- Cours élémentaire de machines marines**, OUDOT. 3<sup>e</sup> édit. 1925. (360 gr.)..... 20 fr.
- L'hélice propulsive**, LORAIN, avec 92 fig. 1925. (430 gr.).. 35 fr.
- Les turbines à vapeur marines**, SOTHERN. 1908. (620 gr.). 22 fr.
- Turbines à vapeur**, STODOLA (voir page XLII).
- VII. — DIVERS**
- Clarification et séparation des liquides par la force centrifuge**, (*appareils sans tamis*) par le docteur B. BLOCK, traduit de l'allemand par J. LÉVY. (*En préparation*.)
- Réparation, montage et entretien des instruments de pesage usuels**, GUEIDON. In-8°, 171 fig. 1926. (270 gr.)..... 52 fr.



## FASCICULE 4

## AUTOMOBILISME. — AÉRONAUTIQUE

## I. — AUTOMOBILISME

- La Vie Automobile**, publication bi-mensuelle illustrée. Ab. annuel : France, 84 fr.; Etr. 150 fr. (130 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit), le n° de l'année en cours. 5 fr.
- Nouvelle Revue automobile**, organe de liaison entre les constructeurs, les agents et les usagers de l'automobile, paraissant tous les mois. Ab. annuel : France et Colonies, 58 fr.; Etranger, 78 fr. (68 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit), le n° de l'année en cours. 6 fr.
- La Technique Automobile et Aérienne**, publication trimestrielle illustrée. Ab. annuel : France, 40 fr.; Etr. : 50 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit), le n° de l'année en cours. 12 fr.
- Cours d'Automobile (1928-29) de la Vie Automobile**. 1930. (275 gr.). 21 fr.
- Pour le chauffeur d'auto**, ROUSSET. 1926. (270 gr.). 15 fr.
- Traité élémentaire d'automobile**, PETIT. 1919. (1.520 gr.). 77 fr.
- Organisation et fonctionnement des véhicules automobiles**, P. PRÉVOST. In-8° avec 711 fig. 1928 (1.480 gr.). Br. 93 fr.
- L'acier dans la construction automobile. Le fer et ses dérivés**, DELESTRADE. In-8°. 1919. (490 gr.). 35 fr.
- Le moteur à essence**, CARLÈS. In-8°. 1921. (960 gr.). 70 fr.
- Construction des moteurs à explosions**, CASALONGA. 1919. (1.210 gr.) 56 fr.
- La voiture à essence**, HELDT et PETIT. In-8°. I. *Le moteur*, 1920. (1.270 gr.), 91 fr. — II. *Le châssis*, 1922. (1.220 gr.). 91 fr.
- Réglage et essais des moteurs à explosion**. R. LAMY. In-8°, 158 fig. 1929. (570 gr.). 64 fr.
- Les moteurs à deux temps**, VENTOU-DUCLAUX. 1929. (640 g.). 34 fr.
- L'allumage des moteurs d'automobile**, SAUR et MARTENOT DE CORDOUX. In-16, avec 34 fig. 2° éd. 1924. (200 gr.). 16 fr.
- La bicyclette à moteur**, P. CARRÉ. In-16. 1924. (180 gr.). 11 fr.
- Carnet de route de « La Vie Automobile »**, PÉRISSÉ. *Nouv. tirage* 1922. (150 gr.). 14 fr.
- Organisation et comptabilité des transports automobiles**, CAQUAS. In-4°. *Nouveau tirage* 1930 (150 gr.). 13 fr.

## BIBLIOTHÈQUE DU CHAUFFEUR

- Principes et recettes**, RAVIGNEAUX et IZART. 1906. (470 gr.). 16 50
- Précis d'automobile**, CONTET. In-16, 2° éd. 1924. (510 gr.). 30 50
- Le chauffeur au garage**, PRÉVOST. In-16. T. I : *Organisation du garage privé*, 43 fig. 1926. (365 gr.), 22 fr.; T. II : *Les réparations et leur contrôle*. 70 fig. 1926. (365 gr.). 22 fr.

- Choix, dépenses, conduite d'une voiture automobile**, P. PRÉVOST. In-16. 1925. (370 gr.)..... 23 fr.  
**Le moteur**, PETIT. In-16, avec 197 fig. 6<sup>e</sup> édit. 1921. (730 gr.). 56 fr.  
**L'équipement électrique des voitures automobiles**, P. PRÉVOST. In-16. 2<sup>e</sup> édit. 1928 (325 gr.)..... 31 fr.  
**Allumage électrique des moteurs**, SAINTURAT. I : *Allumage par batteries et transformateurs*. In-16, avec 149 fig. 1910. (520 gr.), 21 fr.; II : *Allumage par magnétos (épuisé)*.  
**Transmission, embrayage, changement de vitesse et cardan**, RUTISHAUSER. In-16, avec 203 fig. 2<sup>e</sup> édit. 1917. (540 gr.). 25 fr.  
**Le pneumatique**, PETIT. In-16, avec 76 fig. 1912. (600 gr.). 23 fr.

## II. — AÉRONAUTIQUE

- Le bréviaire de l'aviateur**, LEFORT. In-8°. 1922. (1.000 gr.). 72 50  
**L'aviation de transport**, HIRSCHAUER. In-4°. 1920. (1.270 gr.) 53 fr.  
**L'année aéronautique**, HIRSCHAUER et DOLLEUS. 1919-20. (640 gr.), 35 fr.; 1920-21. (980 gr.), 49 fr.; 1921-22. (690 gr.), 42 fr.; 1922-23. (490 gr.), 42 fr.; 1923-24 (*épuisé*). 1924-25. (780 gr.), 42 fr.; 1925-26. (740 gr.), 42 fr.; 1926-27. (980 gr.), 42 fr.; 1927-28. (1.040 gr.), 42 fr.; 1928-29 (1200 gr.), 42 fr.; 1929-30 (1200 gr.)..... 50 fr.  
**Manuel élémentaire du mécanicien d'aviation**, FOURCAULT. 1920. (210 gr.)..... 16 50  
**Nos maîtres les oiseaux**, CÉHMICHEN. In-8°. 1920. (480 gr.). 25 fr.  
**Le vol plané**, BRETONNIÈRE. In-8°, avec 3 pl. 1909. (120 gr.). 5 60  
**Les moteurs à explosions dans l'aviation**, MASMÉJEAN et BÉRÉHARE. I : 1918. (570 gr.), 50 fr.; II : 1920. (550 gr.), 50 fr.; III : 1924. (860 gr.)..... 75 fr.  
**Réglage des moteurs d'aviation**, R. BARRAU. 1929. (225 gr.). 30 fr.  
**Guide de l'aéronaute-pilote**, RENARD. In-16. 1910. (420 gr.). 14 fr.  
**Les matériaux des constructions mécaniques et aéronautiques**, MARCOTTE et BÉRÉHARE. In-4°. 1921. (1.510 gr.)..... 72 50

## FASCICULE 5

# ÉLECTRICITÉ, TÉLÉGRAPHIE, TÉLÉPHONIE

## I. — ÉLECTRICITÉ

- L'Electricien**, bi-mensuel Abt. France, 55 fr.; Etr., 95 fr. (83 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit, le n° de l'année en cours ..... 3 fr. 50.  
**Notions d'électricité générale**, FLEURY. In-16. 1921. (640 g.) 39 fr.  
**Précis d'électricité industrielle**. *Les appareils à courants alternatifs*, SOUBRIER. In-8°, 109 fig. 1922. (230 gr.)..... 16 50  
**Traité d'électricité théorique (prép. à l'École supérieure d'Electricité)**, J. CARVALLO. (1.110 gr.). 1922..... 70 fr.

- Electricité**, GRININGER. I : *Théorie et production*. 2<sup>e</sup> éd. 1923. (850 gr.), 60 fr.; II : *Applications industrielles*, 2<sup>e</sup> éd. 2 vol. 1926. (1.550 gr.)..... 106 fr.
- Les lois fondamentales de l'électrotechnique**, DEPREZ et SOUBRIER. In-16, avec 301 fig. 1919. (820 gr.)..... 56 fr.
- Cours pratique d'électricité**, ROBERJOT. In-16. 1921. (410 g.). 20 fr.
- Cours élémentaire d'électricité industrielle**, ROBERJOT. 3<sup>e</sup> éd. 1928. In-16, avec 474 fig. (680 gr.)..... 24 fr.
- Principes d'électrotechnie**, E. PIERARD. Tome I, in-8°. 4<sup>e</sup> éd. 1924. (810 gr.), 64 fr.; — Tome II, in-8°. 3<sup>e</sup> éd. 1920. (1.020 gr.), 64 fr.; — Tome III, in-8°, 3<sup>e</sup> éd. 1922. (560 gr.)..... 44 50
- Electricité industrielle. Recueil de problèmes élémentaires avec schémas**, F. HARANG. In-16, avec 167 fig. 1921. (330 gr.). 18 fr.
- Travaux pratiques d'électricité industrielle**, ROBERJOT. I : *Mesures industrielles*. 3<sup>e</sup> éd. N. T. 1929. (410 gr.), 18 fr.; II : *Etude des machines électriques. Propriétés. Essais*. 3<sup>e</sup> éd. N. T. 1929. (420 gr.), 18 fr.; III : *Installations intérieures*. 3<sup>e</sup> éd. N. T. 1929. (460 gr.), 19 fr.; IV : *Usines génératrices*. 2<sup>e</sup> éd. 1926. (340 gr.). 17 fr.
- Cours d'électrotechnique, courants alternatifs**, GILLON. 1921. (560 gr.)..... 54 fr.
- L'électrotechnique des praticiens**, FISCHER-HINNEN-GAIBROIS. In-8°, 624 pages. 332 fig. 1926. (1.200 gr.)..... 105 fr.
- L'électricité à la portée de tout le monde** (d'après l'ouvrage de Georges CLAUDE), MAURER. In-8°. 1928. (875 gr.)..... 28 fr.
- Pour l'électricien**, DE THELLESME. 2<sup>e</sup> éd. 1929. (225 gr.). 17 50
- L'électricité industrielle et la portée de l'ouvrier**, ROSENBERG et MAUDUIT. In-16, avec fig. 7<sup>e</sup> éd. *Nouv. tir.* 1928. (700 gr.). 48 fr.
- Manuel pratique de l'ouvrier électricien-mécanicien**, SCHULZ, traduit par STERNBERG. In-8°. 1922. (420 gr.)..... 24 fr.
- Guide élémentaire du monteur électricien**, GAISBERG et HAPPICH. In-8°, avec 231 fig. 1923. (520 gr.)..... 29 fr.
- Aide-mémoire et schémas de l'entrepreneur électricien**, MAURER. In-16, avec 364 fig. 1923. (610 gr.)..... 65 fr.
- Technique du métier d'électricien**, CAILLAULT. 2<sup>e</sup> éd. 1922. (350 gr.)..... 17 fr.
- Installations électriques de force et lumière. Schémas de connexions**, CURCHOD. In-8°, 85 pl. 5<sup>e</sup> éd. 1925. (690 gr.)... 47 fr.
- Les maladies des machines électriques**, SCHULZ et HAPPICH. 3<sup>e</sup> éd. *Nouv. tir.* 1926. In-16, 44 fig. (140 gr.)..... 14 fr.
- Recueil de problèmes avec solutions sur l'électricité**, VIEWEGER et CAPART. 5<sup>e</sup> éd. 1926. (875 gr.)..... 72 fr.
- Mesures électrotechniques**, TURPAIN. In-8°. 1920. (590 gr.). 28 fr.
- Générateurs de courant et moteurs électriques**, GUTTON. 3<sup>e</sup> éd. 1927. (570 gr.)..... 54 fr.
- Les machines asynchrones à champs tournants, à bagues et à collecteur**. LANGLOIS. In-8°. 268 p. 120 fig. 1926. (620 gr.). 53 50
- Comment choisir un moteur électrique?** MAURER. In-8°. 234 p. 152 fig. 1926. (500 gr.)..... 44 50
- Machines électriques, électrotechnique appliquée**, MAUDUIT. In-8°, avec 566 fig. 4<sup>e</sup> éd. .... *En préparation.*
- La sollicitation mécanique des roues polaires tournant à grande vitesse**, WEBNER, traduit par SCHEPPE. In-8°. 1924. (300 gr.) 30 50



- Transformateurs et moteurs d'induction.** CLÉMENT. In-8°. 2<sup>e</sup> éd. 1928. (685 gr.)..... 65 fr.
- La construction économique de la machine électrique,** VIDMAR et SCHEPSE. In-8°. 1923. (290 gr.)..... 25 fr.
- Théorie industrielle de l'électricité et des machines électriques,** VERDURAND. In-8°, avec 342 fig. 1919. (1.190 gr.)..... 62 fr.
- Cours d'électricité industrielle. Le courant continu,** MAGONETTE. In-8°, avec 211 fig. et 41 pl. 1923. (660 gr.)..... 35 fr.
- Dynamos et moteurs électriques,** GILLON. I. *Dynamos*, 1924 (990 gr.) 112 fr. — II. *Moteurs*, 1925 (760 gr.) 112 fr. — III. *Plans et croquis de machines électriques*, 1924 (850 gr.)..... 49 fr.
- Cours de mesures et essais de machines électriques,** GILLON. In-8°. 282 p. 365 fig. 1927. (575 gr.)..... 100 fr.
- L'électricité et ses applications industrielles,** GILLON. T. I: 3<sup>e</sup> éd. 1927, (540 gr.), 54 fr.; T. II: 3<sup>e</sup> éd. 1929, (690 gr.), 54 fr.; T. III: 1921, (450 gr.)..... 54 fr.
- Etude résumée des accumulateurs électriques,** JUMAU. In-8°. avec 124 fig. 3<sup>e</sup> éd. 1928. (620 gr.)..... 64 fr.
- Les maladies de l'accumulateur au plomb,** KRETSCHMAR et WALTER. In-16, 82 fig. 1924. (300 gr.)..... 25 fr.
- Théorie des enroulements des machines à courant continu,** SZARVADY. In-8°, avec 40 fig. 1918. (240 gr.)..... 23 50
- La construction des bobinages électriques,** CLÉMENT. 2<sup>e</sup> éd. 1926. (750 gr.)..... 66 fr.
- L'exécution des enroulements des machines triphasées,** M. LE CADRE. In-8°. 1930 (235 gr.)..... 31 fr.
- Schémas et règles pratiques de bobinage des machines électriques,** TORICES et CURCHOD. 54 pl. 3<sup>e</sup> éd. 1927. (220 gr.). 20 fr.
- Essais des fils et câbles isolés au caoutchouc,** A.-R. MATTHIS. In-16, 18 fig. 1923. (300 gr.)..... 21 fr.
- Deuxièmes notes sur les huiles pour transformateurs,** MATTHIS. In-8°, 196 p. 21 fig. 1926. (270 gr.)..... 44 50
- Stations centrales de production et sous-stations de transformation d'énergie électrique,** VELLARD. 113 fig. 1924. (520 gr.). 42 fr.
- Installations électriques à haute et basse tension,** MAUDUIT. 2 vol. in-8° de 1.406 p., 578 fig. 1926. (1.900 gr.)..... 231 fr.
- La protection des réseaux et des installations électriques contre les surtensions,** CAPART. In-8°, 2<sup>e</sup> éd. 1920. (620 gr.)..... 39 fr.
- Appareillage électrique haute tension, Théorie et construction,** BRESSON. In-8° de 464 pages, 379 fig. 1929 (830gr.)..... 119 fr.
- Abaqués pratiques pour le calcul des lignes de transport de force.** GARNIER. 1921. (380 gr.)..... 35 fr.
- Les aimants.** PICOU. In-8°. 110 p. 1927. (240 gr.)..... 22 fr.
- Manuel de l'éclairage et applications pratiques,** FOURCAULT. In-8°. 1928. (565 gr.)..... 51 fr.
- Le chauffage électrique,** BOILEAU. In-8°. 1920. (530 gr.). 35 fr.
- Les compteurs d'électricité,** FICHTER. In-8°, 1929. (730 gr.). 74 fr.
- Comptage de l'énergie électrique en courant alternatif,** TARTINVILLE. In-8°, 1929 (300 gr.)..... 39 fr.
- Pour éviter l'électrocution,** ROUSSEL. In-16. 1927. (105 gr.). 6 fr.
- Les fours électriques industriels et les fabrications électrothermiques,** ESCARD. In-8°, 250 fig. 2<sup>e</sup> éd. 1924 (1.540 gr.). 119 fr.

- Fours électriques de laboratoire**, ESCARD. 2<sup>e</sup> édit. 1920. (260 gr.). 16 50  
**Manuel pratique des autorisations de voirie pour les distributions d'énergie électrique**, BOUGAULT. In-8°. 1920. (740 gr.) 20 fr.

## II. — TÉLÉGRAPHIE

- Le système de télégraphie Baudot et ses applications**, MERCY. In-8°, avec 263 fig. 4<sup>e</sup> édit. 1929. (850 gr.)..... 62 fr.  
**Radiotélégraphie, radiotéléphonie**, DEJUSSIÉ. 1924. (410 gr.). 17 fr.  
**Manuel pratique de l'amateur de T. S. F.**, DUROQUIER. 1925. (310 gr.) ..... 17 50  
**Théorie simplifiée de la téléphonie et de la télégraphie sans fil**, VERDURAND. 3<sup>e</sup> édit. 1923. (130 gr.)..... 7 fr.  
**Radiotélégraphie pratique et radiotéléphonie**, MAURER. In-8°, avec 261 fig. 2<sup>e</sup> édit. 1924. (1.050 gr.)..... 60 fr.

## III. — TÉLÉPHONIE

- Installations téléphoniques d'après l'ouvrage de SCHILS et CORNET**, par R. PARÉSY. 6<sup>e</sup> édit. 1930 (420 gr.)..... 42 fr.  
**La téléphonie automatique**, MILHAUD, 199 fig. 1925. (520 gr.) 54 fr.

## FASCICULE 6

# CHIMIE. — ANALYSE CHIMIQUE

## I. — CHIMIE GÉNÉRALE ET INDUSTRIELLE

- Dictionnaire anglais-français-allemand des mots et locutions intéressant la physique et la chimie**, CORNUBERT. 1922. (770 gr.). 77 fr.  
**Dictionnaire des produits chimiques commerciaux et de la droguerie industrielle**, par A. CHAPLET..... (*Sous presse.*)  
**Encyclopédie chimique**, publiée sous la direction de M. FRÉMY. 67 vol. in-8°, avec fig. — *Conditions de vente sur demande.*  
**Les mathématiques du chimiste**, GAY. In-8°. 1926. (565 gr.). 28 fr.  
**Chimie générale et industrielle**, MOLINARI et MONTPELLIER. In-8°. Tomes I et II : *Chimie inorganique (Introduction; métalloïdes)*, 1920. (2.380 gr.), 131 fr. Tome III (*métaux*). 1921. (1.350 gr.), 99 fr. Tome IV (*Chimie organique, 1<sup>re</sup> partie*). 1923. (1.380 gr.), 124 fr. Tome V (*Chimie organique, 2<sup>e</sup> partie*). 1926. (1.500 gr.) ..... 154 fr.

- Memento du chimiste**, BOLL et BAUD, I. *Partie scientifique*. In-16. 676 p. 1927. (700 gr.)..... 116 fr.  
 II. *Partie industrielle*. In-16, 686 pages. 1927. (700 gr.).... 105 fr.
- Pour le chimiste**, CHAPLET. In-16, avec 140 fig. 1925. (230 gr.) 16 50
- Cours de chimie, Lois générales. Métalloïdes**. BOLL. (740 gr.). 1927. 47 fr.
- Cours de chimie. Métaux et Cations**, BOLL et ALLARD. In-16, avec 62 fig. 1928. (540 gr.)..... 39 fr.
- Précis de chimie. P.-O.-N.** BOLL et CANIVET. 1927. (820 gr.). 56 fr.
- La chimie des complexes inorganiques**, SCHWARZ et JULLIARD. In-16, avec 41 fig. 1922. (110 gr.)..... 16 50
- Traité de chimie générale**, NERNST et CORVISY. 2<sup>e</sup> édit. I. *Propriétés générales des corps. — Atome et molécule*. 1922. (1.170 gr.). 84 fr.; II. *Transformations de la matière et de l'énergie*. 1923. (1.000 gr.) 84 fr.
- Cours élémentaire de chimie industrielle**, TOMBECK et GOUARD. In-16, avec fig. 3<sup>e</sup> édit. *Nouv. tir.* 1928. (430 gr.)..... 15 fr.
- Cours de chimie (sect. commerc.)**, CHARABOT et MILHAU. 3<sup>e</sup> édit. 1929. (480 gr.)..... 17 fr.
- Chimie à l'usage des candidats aux Ecoles d'arts et métiers**, TOMBECK et GOUARD. In-16, avec 160 fig. 1920. (430 gr.)... 21 fr.
- La chimie à la portée de tous**, HICKISCH. 41 fig. 1920. (600 gr.). 40 fr.
- Leçons de chimie organique**. V. THOMAS. (*En préparation*)
- Les méthodes de la chimie organique**, WEYL et CORNUBERT. I. *Généralités*, 2<sup>e</sup> édit. 1921. (1.730 gr.), 91 fr.; II : *Monographies, N. T.* 1921. (1.790 gr.), 91 fr.; III : *Monographies, N. T.* 1923. (1.750 gr.). 112 fr.; IV : *Monographies* 1920. (2.090 gr.). 112 fr.
- Travaux pratiques de chimie organique**, ULMANN et CORNUBERT. In-8<sup>o</sup>, avec 26 fig. 2<sup>e</sup> édit. *Nouv. tir.* 1925. (340 gr.)..... 30 fr.
- Chimie des colloïdes. Applications industrielles**, P. BARY. In-8<sup>o</sup>. 1928. (180 gr.)..... 16 fr.
- Les colloïdes : leurs gelées, leurs solutions**, BARY. In-8<sup>o</sup>, 105 fig. 1921. (1.170 gr.)..... 84 fr.
- Chimie colloïdale**, ZSIGMONDY. 1926. (1.050 gr.)..... 99 fr.
- Les colloïdes métalliques**, BARY. In-8<sup>o</sup>, 13 fig. 1920. (260 gr.). 16 50
- Osmose. Dialyse. Ultrafiltration**, GENIN. In-8<sup>o</sup>. 1928. (510 gr.) 53 fr.
- Éléments de marchandises. I : Bois, matériaux de construction, combustibles, eaux minérales et gazeuses**, JACQUET et TOMBECK. 3<sup>e</sup> éd. 1930. (320 gr.), 15 fr. 50; II : *Métallurgie, métaux*, JACQUET et TOMBECK. 2<sup>e</sup> éd. 1924. (360 gr.), 17 fr.; III : *Produits chimiques*. SON et MARTIN. 2<sup>e</sup> éd. 1925. (230 gr.), 7 fr. 50; IV : *Matières alimentaires*, BROTTET et LELEU. 2<sup>e</sup> éd. 1925. (290 gr.), 13 fr.; V : *Matières grasses, textiles et diverses*, BROTTET et LELEU. 2<sup>e</sup> éd. 1926. (340 gr.) 13 fr.
- La récupération des solvants volatils**, ROBINSON. In-8<sup>o</sup>, avec 73 fig. 1928. (420 gr.)..... 46 fr.
- Electrolyse de l'eau et des chlorures alcalins**. BILLITER, traduit par SALAUZE. In-8<sup>o</sup>, 1928 (840 gr.)..... 84 fr.
- Electrochimie appliquée. Electrometallurgie des solutions aqueuses**. BILLITER, traduit par J. et S. SALAUZE. (*En préparation*.)
- L'électrochimie et l'électrometallurgie**, LEVASSEUR. In-8<sup>o</sup>, avec 128 fig., 3<sup>e</sup> édit. 1928 (700 gr.)..... 71 fr.



## II. — ANALYSE CHIMIQUE

- Précis d'analyse chimique.** BOLL-LEROIDE. T. I : *Principes généraux, tables numériques.* In-8°. 1927. (635 gr.), 44 fr.; T. II : *Cations.* In-8°, 1927. (960 gr.), 80 fr. T. III : *Anions.* In-8°, 1929. (900 g.) 85 fr.
- Essais et analyses,** ROSSET. In-8°, avec figures. 1920. (220 gr.) 10 fr.
- Essais chimiques des marchandises,** LÉVI. 1913. (310 gr.) 10 fr.
- Technologie et analyse des principales marchandises.** L. LEVI. In-8°. VIII-269 p. 1930 (500 gr.)..... 52 fr.
- Chimie analytique,** TREADWELL et BOLL. I : *Analyse qualitative.* 4<sup>e</sup> édit. N. Tir. 1925. (760 gr.), 66 fr.; II : *Analyse quantitative.* 4<sup>e</sup> édit. N. Tir. 1925. (940 gr.)..... 77 fr.
- Traité d'analyse des substances minérales,** CARNOT. In-8°. I : *Méthodes générales,* 357 fig. 1898. (2.290 gr.), 112 fr.; II : *Métalloïdes.* 81 fig. 1904. (1.970 gr.), 91 fr.; III : *Métaux* (1<sup>re</sup> partie). 1910. (2.050 gr.), 105 fr.; IV : (2<sup>e</sup> partie). 1922. (1.840 gr.)... 112 fr.
- Cours d'analyse quantitative des matières minérales.** MEURICE. In-8°. 894 pages, 74 fig. 2<sup>e</sup> édit. 1926. (2.000 gr.)..... 120 fr.
- Analyse des métaux par électrolyse,** HOLLARD et BERTIAUX. In-8°. 4<sup>e</sup> édit. 1930 (445 gr.)..... 58 fr.
- Manuel pratique d'analyse organique.** WESTON. 1921. (200 gr.) 22 fr.
- Introduction à l'analyse qualitative organique.** STAUDINGER et FROST, traduit de l'allemand par REUSS..... (Sous presse.)
- Nouvelles méthodes d'analyse chimique organique.** TER-MEULEN-HESLINGA. In-8°. 50 p. 21 fig. 1927. (130 gr.)..... 7 fr.
- Traité d'analyses industrielles,** GRIFFITHS et LÉVI. 1924. (1.260 g.) 116 fr.
- Expertises chimiques,** KLING. I : *Produits animaux, conserves, sel,* 1921. (870 gr.), 77 fr.; II : *Matières grasses. Cires et paraffines. Essence de térébenthine. Huiles minérales.* 1922. (800 gr.), 70 fr.; III : *Boissons et dérivés immédiats,* 1923. (690 gr.) 62 fr.; IV : *Produits végétaux et dérivés.* 1922. (1.040 g.) 85 fr.; V : *Eaux et air.* 1922. (490 gr.), 39 fr.; VI : *Etamage, Jouets, Matières colorantes, Toxicologie des aliments.* 1923. (550 gr.)..... 43 fr.

## FASCICULE 7

## INDUSTRIES DIVERSES

- L'examen des viandes,** MARTEL. 100 fig. 1909. (830 gr.)... 30 50
- Les déchets et sous-produits d'abattoirs, de boucherie et de fabriques de conserves,** POHER et RAZOUS. 1908. (500 gr.) 10 fr.
- L'industrie de l'équarrissage,** MARTEL. 2<sup>e</sup> édit. 1928. In-8°. (840 gr.)..... 75 fr.

- Fabrication des colles et gélatines**, V. CAMBON. 2° édit. 1923. (360 gr.)..... 34 fr.
- Pour le boulanger et le pâtissier**, FOUASSIER. 1928. (240 gr.)..... 18 fr.
- Pour le confiseur**, FOUASSIER. In-16. 1928. (170 gr.)..... 13 50
- La conservation par le froid des denrées périssables**, MONVOISIN. In-8°, avec 178 fig. 1923. (1.040 gr.)..... 96 fr.
- La technique de la production du froid**, PACORET. 1920. (1.120 gr.)..... 93 fr.
- Les cycles frigorifiques**, OSTERTAG-PRIOR. 1926. (350 gr.)... 59 fr.
- L'air liquide, oxygène, azote, gaz rares**, G. CLAUDE. In-8°, avec 166 fig. 1926. (1.300 gr.)..... 49 fr.
- Clarification et séparation des liquides par la force centrifuge (appareils sans tamis)**. BLOCK, traduit de l'allemand, par J. LÉVY. (En préparation.)
- Distillation et rectification des liquides industriels**, MARILLER. In-8°. avec 144 fig. 2° édit., 1925. (1.370 gr.)..... 139 fr.
- Pour le distillateur, le débitant, le barman**, FOUASSIER. In-16, avec 21 fig. 1927. (150 gr.)..... 16 50
- Etude sur le cardage des laines cardées et autres matières travaillées sur le même principe**, COLIN. In-8°. (545 gr.). 50 fr.
- Etude sur le retordage et la fabrication des fils à plusieurs brins**, COLIN. In-8°. (540 gr.)..... 50 fr.
- Traité complet de la filature du coton**, COLIN. In-8°.
- T. I : 1928 : *Préparation de filature, 1<sup>re</sup> partie*. (930 gr.).... 85 fr.
- T. II : 1929. *Préparation de filature. 2<sup>e</sup> partie*. (800 gr.)..... 80 fr.
- T. III : *Traité des métiers à filer et filature des déchets* (1190 gr.) 130 fr.
- Le tissage mécanique moderne**, SCHLUMBERGER. 1921. (350 g.) 35 fr.
- De l'apprêt des tissus de laine peignée**, LAGACHE. 1914. (1.210 gr.)..... 63 fr.
- La soie artificielle. Fabrication et propriétés**, WHEELER, traduit de l'anglais par TATU (320 gr.)..... 41 fr.
- La fabrication des matières intermédiaires pour les colorants**, CAIN et SALLES. In-8°, avec 25 fig. 1920. (640 gr.)..... 49 fr.
- Les matières colorantes de synthèse et les produits intermédiaires servant à leur fabrication**, CAIN et THORPE. 1922. (1.360 g.)..... 105 fr.
- Les matières colorantes organiques**, EHRMANN. 1922. (2.000 gr.)..... 105 fr.
- La teinture du coton**, SERRE. In-16. 62 fig. et 9 pl. 1912. (580 gr.) 19 fr.
- Traité de la couleur**, ROSENSTIEHL. In-8°, 1913. (990 gr.). 56 fr.
- Traité de la teinture moderne**, SPETEBROOT. 2° édit. 1927 (1.410 gr.)..... 114 50
- Manuel du teinturier**, GNEHM, DE MURALT. 1926. (530 gr.). 72 50
- Les fibres textiles et la teinture**, BARY. In-8°, 46 fig. 1927. 49 fr.
- Pour le blanchisseur**, CHAPLET. In-16. 1927. (200 gr.)..... 16 50
- La chimie du savonnier et du commerce de corps gras**, EHRSAM. In-8°, avec figures. 1921. (1.000 gr.)..... 67 fr.
- La fabrication des savons industriels**, EHRSAM. 3° édit. 1927. (600 gr.)..... 44 fr.
- La fabrication moderne des savons, bougies, glycérines, etc.**, LAMBORN et APPERT. In-8°. 1923. (1.360 gr.)..... 105 fr.

- Technologie et analyse chimique des huiles, graisses et cires**, LEWKOWITSCH et BOUTOUX. Tome I. 2<sup>e</sup> édit. 1929. (1.775 gr.), 200 fr. Tomes II et III..... (En réimpression).
- L'industrie des parfums**, OTTO. 2<sup>e</sup> édit. 1924. (1.490 g.)... 133 fr.
- Les essences naturelles**, CRAVERI. In-8°. 1929 (765 gr.).. 70 fr.
- Pour le parfumeur**, TRAVELLER. 1924. (190 gr.)..... 15 fr.
- La grande industrie des acides organiques**, ROUX et AUBRY. In-8°, avec 147 fig. 1923. (1.120 gr.)..... 92 fr.
- Production industrielle synthétique des composés nitrés**, ESCARD. In-8°, avec figures. 1920. (600 gr.)..... 49 fr.
- Les colloïdes dans l'industrie. Le caoutchouc**, BARY. In-8°, 50 fig. 1923. (300 gr.)..... 47 50
- Technologie du caoutchouc souple**, DE FLEURY. 1920. (300 g.) 30 50
- Les caoutchoucs artificiels**, VENTOU-DUCLAUX. 1912. (260 gr.) 14 fr.
- Manuel d'essais simples et rapides, à l'usage des tanneurs et mégisseries**, EGLÈNE. In-8°. 1922. (200 gr.)..... 14 fr.
- La chimie de la fabrication du cuir**, WILSON-DEFORGE. In-8°, 468 p., 150 fig. 1926. (450 gr.)..... 105 fr.
- La chimie du cuir**, EGLÈNE. In-8°. *Nouv. tir.* 1920. (300 gr.).. 18 fr.
- Industries des poils et fourrures, cheveux et plumes**, BELTZER. In-8°, avec 83 fig., 3<sup>e</sup> édit. 1927. (520 gr.)..... 54 fr.
- Le gantier**, FROUMENTY et BOUVIER. In-8°, 89 fig. 1920. (370 gr.) 18 fr.
- Guide du tailleur**, MORIN. In-8°, avec 89 fig. 1921. (260 gr.).. 17 fr.
- Pour le relieur**, ROUX. In-16, avec fig. 1926. (170 gr.)... 16 50
- Gaz et cokes**, GREBEL et BOURON. In-8°, 324 fig. 1924. (1.450 g.) 109 fr.
- Manuel de chimie gazière**, SAINTE-CLAIRE DEVILLE. 1921. (320 gr.).. 24 50
- Eclairage : huile, alcools, gaz, électricité, photométrie**, GALINE et SAINT-PAUL. In-8°, avec 372 fig. 3<sup>e</sup> édit. 1929. (1.040 gr.)..... 98 fr.
- Manuel de l'éclairage et applications pratiques**, FOURCAULT. In-8°, avec 237 fig. 1928. (565 gr.)..... 51 fr.
- Le goudron et ses dérivés**, MALATESTA. 2<sup>e</sup> édit. 1927. (1.200 g.) 98 fr.
- Les fours à coke**, LECOCO. 108 fig. et pl. 1919. (1.600 gr.).. 98 fr.
- Les fours industriels**. W. TRINKS, Traduit de l'anglais par A. SCHUBERT..... (En préparation.)
- Combustibles industriels**, COLOMER et LORDIER. In-8°. 4<sup>e</sup> édit. 1921. (1.470 gr.)..... 105 fr.
- Recherche et exploitation du pétrole**, HARDEL. 1922. (350 gr.) 28 fr.
- Le pétrole. Son utilisation comme combustible**, MASMEJEAN et BÉRÉHARE. In-8°, 92 figures et 30 tableaux. 1920. (1.070 gr.).. 57 fr.
- Exploitation industrielle de la tourbe**, VAN ECKE. In-8°. 1918. (730 gr.)..... 49 fr.
- La tourbe et son utilisation**, DE MONTGOLFIER. 1918. (270 gr.) 24 fr.
- La carbonisation des bois, lignites et tourbes**, MARILLER. In-8°, avec fig. 1924. (930 gr.)..... 65 fr.
- Technologie du bois**, MASVIEL. T. I. 3<sup>e</sup> édit. 1926 : *Généralités*. 338 fig. (520 gr.), 23 fr.; T. II : *Travail mécanique*, 286 fig. (2<sup>e</sup> édit. 1925. (610 gr.)..... 27 fr.
- L'usinage du bois**, PETITPAS. In-8°, avec 35 fig. 1923. (620 gr.) 39 fr.
- Pour l'artisan du bois**, STHEGENS. In-16. 1927. (360 gr.)... 23 fr.
- Le séchage des bois**, IHNE. In-8°. 1927. (270 gr.)..... 33 fr.
- Séchage industriel**, RAZOUS. 3<sup>e</sup> édit. 1920. (650 gr.)..... 46 fr.



- Soufflage du verre**, VIGREUX, In-8°, 3<sup>e</sup> édit. 1930 (345 gr.)... 39 fr.  
**Céramique industrielle**, ARNAUD et FRANCHE. In-8°, avec 306 fig.  
 2<sup>e</sup> édit. 1922. (770 gr.)..... 77 fr.  
**Les argiles réfractaires**, BISCHOF, SCHUBERT. 1926. (750 gr.). 77 fr.  
**Pour le doreur, l'argenteur, le nickelleur**, DE THELLESME. In-16  
 avec 26 fig. 1928. (204 gr.)..... 15 fr.  
**Manuel de l'émaillage sur métaux**, MILLENET. 3<sup>e</sup> édit. 1929. 18 fr.  
**L'émaillage industriel de l'acier et de la fonte**, THIERS. In-8°. 1929. (488 gr.)..... 44 fr.  
**Installation d'une émaillerie**, EYER et THIERS. 1926. (160 gr.) 15 fr.  
**Technologie chimique des matières premières de l'émail**,  
 GRUNWALD, HIRSCH, THIERS. In-8°, 25 fig. 1926. (610 gr.). 56 fr.  
**Vernis et émaux cellulosiques**. SPROXTON, traduit par A. TISSOT.  
 In-8°, 1929 (385 gr.)..... 40 fr.  
**Photographie**, MIRON, PROMIO. In-16. 2<sup>e</sup> édit., 1925. (730 gr.). 68 fr.  
**Pour le photographe et le cinéman**, DE THELLESME. In-16. 229  
 p. 139 fig. 1927. (240 gr.)..... 19 50  
**La technique cinématographique**, LOBEL. In-16, 3<sup>e</sup> édit. 1926.  
 (665 gr.)..... 77 fr.  
**Le guide de l'opérateur dans la photogravure**, VILLEMAIRE.  
 In-8°, avec 34 fig. 1921. (250 gr.)..... 21 fr.  
**Pour l'inventeur**, CHAPLET. In-16, 1926. (230 gr.)..... 18 50

## AGRICULTURE

- Génie rural. Constructions rurales et machines agricoles**, PHILBERT-  
 PORCHET. In-16. 596 p. 299 fig. 2<sup>e</sup> édit. 1927. (760 gr.)... 60 fr.  
**Hydraulique agricole**, LÉVY-SALVADOR. I : *Cours d'eau. Barrages.*  
*Maintien du libre écoulement des eaux.* 293 fig. 3<sup>e</sup> édit. 1928. (920 gr.).  
 68 fr.; II : *Irrigations*, 459 fig. 2<sup>e</sup> édit. 1923. (520 gr.), 45 fr.; III :  
*Eaux nuisibles*, avec 239 fig., 2<sup>e</sup> édit. 1923. (490 gr.)... 45 fr.  
**Manuel d'agriculture tropicale**, WILLIS, 25 pl. 1912. (620 gr.) 30 50  
**Zoologie appliquée en France et aux colonies**, PELLEGRIN et CAYLA.  
 In-16, avec 282 fig. 1907. (1.060 gr.)..... 54 fr.  
**Comment prévoir le temps?** MOREUX. 2<sup>e</sup> édit. 1925. (350 gr.). 21 fr.  
**Méthode simple pour prévoir le temps**, MOREUX. 1923. (50 gr.). 7 fr.  
**Pour le jardinier amateur**, ROUSSET. 1927. (300 gr.)... 19 50

## FASCICULE 8

# ARCHITECTURE. — CONSTRUCTION TRAVAUX PUBLICS

## I. — ARCHITECTURE

- Traité d'architecture**, REYNAUD. *Ouvrage couronné par l'Institut.*  
4<sup>e</sup> édit. 2 vol. in-4° et 2 atlas de 179 pl. 1894. (12.100 gr.). 504 fr.
- Architecture**, HÉBRARD. In-16, 371 fig. 2<sup>e</sup> édit. 1928. (720 gr.). 64 fr.
- Traité d'architecture théorique et pratique**, TUBEUF. In-4°. I : *Histoire de l'architecture.* (1.280 gr.), 42 fr.; II : *Pratique de l'architecture.* (1.380 gr.), 48 fr.; III : *Types de constructions diverses* (Habitations particulières). (1.440 gr.), 48 fr.; IV : *Types de constructions diverses* (Édifices publics et divers). (2.230 gr.)..... 72 fr.
- Pour l'architecte et le futur propriétaire**, HANNOUILLE. In-16, avec 116 fig. 1929 (235 gr.),..... 19 fr.
- Édifices publics**, GUILLOT, BOUSQUET. 2<sup>e</sup> édit. 1927. (950 gr.). 83 fr.
- Comment construire une villa. La construction à la portée de tous.**  
GUILLOT. In-8°, 474 fig. et 1 pl. 3<sup>e</sup> édit. 1923. (640 gr.).... 44 50
- Petites constructions françaises**, par un Comité d'architectes, avec 400 pl. 1904. T. I: (*épuisé*), T. II, III, IV, chaque volume. 1500 gr. environ..... 85 fr.
- Maisons ouvrières récemment construites.** 40 pl. (760 gr.). 40 fr.
- La science des plans de villes. Ses applications à la construction, à l'extension, à l'hygiène et à la beauté des villes**, A.-A. REY, J. PIDOUX, C. BARDE. In-8°, avec figures. 1929. (1.300 gr.)..... 195 fr.
- Quelques problèmes d'urbanisme.** W. L'HARACHNICK. In-8°, 1930 (265 gr.)..... 13 fr. 50
- L'urbanisme à la portée de tous**, RAYMOND. 1925. (290 gr.) 25 fr.
- Plantations, parcs et jardins publics**, LEFEBVRE. In-16, 376 fig. 2<sup>e</sup> édit. 1927..... 50 fr.
- La maison salubre**, GUILLOT. In-8°, 172 fig. 1914. (980 gr.). 42 fr.

## II. — GÉNÉRALITÉS SUR LA CONSTRUCTION

- Annales des Travaux Publics de Belgique**, Ab. annuel (6 n<sup>os</sup>).  
France : 110 fr. Etranger : 115 fr. (110 fr. pour les pays acceptant l'échange du tarif postal réduit). Le n<sup>o</sup>..... 20 fr.
- Aide-mémoire des ingénieurs, architectes, entrepreneurs, conducteurs, agents-voyers, dessinateurs**, CLAUDEL et DARIÈS.  
Partie théorique : *Introduction à la science de l'ingénieur.* 8<sup>e</sup> édit. 2 vol. in-8°, avec 1.710 fig. et 2 pl. 1913. (2.430 gr.)..... 86 50
- Partie pratique : *Formules, tables et renseignements usuels.* 2 vol. in-8°. xxvi-2296 p. 1613 fig. 12<sup>e</sup> édit. 1930 (2800 gr.). Rel... 235 fr.

- Pratique de l'art de construire**, CLAUDEL, LAROQUE et DARIÈS.  
In-8°, 1.162 fig. 7° édit. *Nouv. tir.* 1920. (1.520 gr.)..... 133 fr.
- Les travaux publics et le bâtiment aux Etats-Unis**, ANTOINE.  
In-8°, avec 123 fig. 1923. (330 gr.)..... 30 fr.
- Devis et évaluations des travaux publics et des constructions civiles**, BONNAL et DARDART. In-16, 2° édit. 1924. (960 gr.). 72 fr.
- Méthodes rapides d'évaluation du prix de construction et série de prix au mètre superficiel**, LOUARN. In-4°. 3° édit. 1924. (430 gr.)..... 35 fr.

### III. — RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX, STABILITÉ DES CONSTRUCTIONS

- Résistance des matériaux appliquée aux constructions**, ARAGON.  
2° édition révisée par CHAMBRAN. I : 1928. (1.020 gr.), 69 fr. II : 1929 (910 gr.). 72 fr. III : 1927. (740 gr.)..... 56 fr.
- Cours de résistance des matériaux : Applications au calcul des éléments des machines**, BONHOMME. In-8°, 1919. (1.500 gr.). 98 fr.
- Cours de résistance des matériaux**, RABOZÉE. In-8°, avec 236 fig. 1926. (1.800 gr.)..... 182 fr.
- Cours de résistance des matériaux**, MESNAGER. In-8°, avec 330 fig. 1928. (660 gr.)..... 84 fr.
- Déformations permanentes et ruptures des aciers. Les causes prévues. Les accidents**, RÉGNAULD, 1929 (180 gr.)..... 22 fr.
- Le calcul des colonnes**, LEMAIRE. I : In-8° (*épuisé*). II : in-8°, 1926. (210 gr.). 30 fr. III : in-4°, 1928. (320 gr.)..... 50 fr.
- Statique graphique**, BUGAT-PUJOL. In-4°, 1918. (1.410 gr.). 67 fr.
- Barèmes pour le calcul des poutres, solives, linteaux, poitrails, chevrons, etc.**, P. TURBAT. In-8°, 1929. (135 gr.)..... 15 fr.
- Traité de la résistance des matériaux et de la stabilité des constructions civiles**, DE VILLIERS DE L'ISLE-ADAM. In-8°, avec 61 fig. N. T. 1930 (710 gr.)..... 39 fr.
- Stabilité des constructions usuelles**, ROUSSELET et PETITET. In-4°, 421 fig. 2° édit. 1926. (840 gr.)..... 78 fr.
- Déformations des constructions usuelles**, ROUSSELET et PETITET. In-4°, 493 fig. 1923. (1.010 gr.)..... 61 50
- Cours de stabilité des constructions**, VIERENDEEL. 4° édit. I : 1926. (1.170 gr.), 140 fr.; II : 1928. (1.350 gr.), 140 fr.; III : 1927. (650 gr.). 100 fr.; IV : 1927. (965 gr.), 130 fr.; V : 1928. (1.135 gr.). 130 fr.

### IV. — MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION, CIMENT ARMÉ

- Les défauts des mortiers et bétons**. MALETTE. In-8° de iv-226 pages, 1929 (425 gr.)..... 55 fr.
- Bois et métaux**, AUCAMUS. 365 fig. 2° éd. 1926. (630 gr.).. 60 fr.
- Analyses et essais des matériaux de construction**, MALETTE. In-16. 916 p., 187 fig. 1924. (1.010 gr.)..... 72 fr.
- Analyse dilatométrique des matériaux**, P. CHEVENARD. In-4° 1929..... 25 fr.



- Recherches industrielles sur les chaux, ciments et mortiers**, BIED. 227 p., 37 fig., 23 graphiques. 1926. (470 gr.)..... 49 fr.
- Cours de béton armé**, A. MESNAGER. In-4° 1921. (1.590 gr.) 154 fr.
- Aide-mémoire de l'ingénieur-constructeur de béton armé**, BRAIVE. In-8°, avec fig. 3° édit. 1922. (560 gr.)..... 47 fr.
- Le béton armé à la portée de tous**, MALPHETTES. (420 gr.). 1925. 37 fr.
- Calculs simplifiés de stabilité des constructions en béton armé**, THIBAUT. In-8°, 1929. (630 gr.)..... 70 fr.
- Les calculs de résistance de pièces en béton armé rendus simples**, THIBAUT. In-8°, 106 p. 1926. (250 gr.)..... 19 50
- Pratique de la construction en béton et mortier de ciment armés ou non armés**, TAYLOR, THOMPSON et DARRAS. 1924. (1.360 gr.). 105 fr.
- Tables pour le calcul rationnel des planchers sans nervures et des dalles rectangulaires**, SONIER, 1929. (210 gr.). 27 50
- Pour le cimentier**. CHAPLET. 2° édit. 1929 (175 gr.)..... 15 fr.
- Le portefeuille du béton armé**, FORESTIER. Fascicules I à IV. 21 fig., 6 pl. 2° édit. 1926. (680 gr.), 62 fr.; Fasc. V à VIII. 23 fig., 7 pl. 1921. (780 gr.)..... 62 fr.
- Calcul des constructions hyperstatiques**, RIEGER-CAROT. Tome I : *Cadres et portiques en béton armé*. 2 vol., 1927 (450 gr.). Ensemble 54 fr. — Tome II : *Cadres et portiques multiples*. (En préparation.)
- Règle à calcul pour construction en béton armé**, système RIEGER (avec 3 réglètes)..... 1.200 fr.

## V. — TERRASSEMENTS, FONDATIONS, MAÇONNERIE

- Tracé et terrassements**, FRICK et GUILLEMONT. In-16, 2° édit. 1926, (950 gr.)..... 70 fr.
- Fouilles et fondations**, FRICK et LÉVY-SALVADOR. In-16. 2° édit. 1926 (720 gr.) ..... 62 fr.
- Métré et attachements de terrasse, maçonnerie, etc.**, MOUREL-MAILLARD. I : *Terrasse*. (épuisé) ; II (épuisé). III, IV, V : *Maçonnerie*. (3.990 gr.)..... 180 fr.
- Maçonneries**, SIMONET. In-16. 2° édit. 1929. (600 gr.).... 48 fr.
- La marbrerie**, DARRAS. In-8°, avec 163 fig. 2° éd. 1929 (700 gr.). 72 fr.
- Carrelages et faïences**, MOULINEY. In-4°, 157 fig. 1914. (700 g.) 28 fr.
- Pour le maçon et le plâtrier**, HANNOUILLE. (216 gr.). 1928. 16 50

## VI. — CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES, CHARPENTE, COUVERTURE, MENUISERIE, ÉBÉNISTERIE, TAPISSERIE, SERRURERIE

- Calcul des charpentes**, BERGERON. In-4°. 1921. (1.440 gr.).. 126 fr.
- Constructions métalliques**, BONHOMME et SILVESTRE. In-4°, 867 fig. et 2 pl. 1921. (1.710 gr.)..... 112 fr.
- Considérations inédites sur les charpentes métalliques**, L. PERBAL. In-4°, avec fig. et tableaux. 1929. (520 gr.)..... 50 fr.
- Tableaux relatifs à la construction métallique** (*Vade-mecum du charpentier*), L. PERBAL, In-4°, avec 13 fig. 1929. (255 gr.). 23 fr.

- Le traçage en chaudronnerie et en charpente en fer**, HERMANN et DEYSINE. In-16, 1924. (200 gr.)..... 20 fr.
- Traçage des constructions métalliques et de chaudronnerie**, BOTTIEAU. 1926. (770 gr.)..... 61 fr.
- Traité de charpente en bois et en fer**, OSLET. In-4<sup>o</sup>. I : *Charpente en bois*. (épuisé) ; II : *Charpente en fer*. (2.060 gr.). 72 fr. ; III : *Serrurerie, Quincaillerie et petite charpente en fer*. (2.230 gr.). 78 fr. ; IV : *Procédés de construction*. (1.040 gr.), 60 fr. ; V : *Métré de charpente en bois*. (2.280 gr.)..... 90 fr.
- Art du trait de charpente**, DELATAILLE. I : *Bois droit*. (590 gr.), 30 fr. ; II : *Bois droit*. (580 gr.), 30 fr. ; III : *Bois broché*. (560 gr.), 30 fr. ; IV : *Combles* (570 gr.), 30 fr. ; Les 4 vol. (2.300 gr.). 100 fr.
- Charpente et couverture**, ALDEBERT et AUCAMUS. In-16, 2<sup>e</sup> édit. 1926. (700 gr.)..... 52 fr.
- Métré de couverture et série de prix des ouvrages de couverture**, OSLET, LECOMBE et CORDEAU. In-4<sup>o</sup>, avec 610 fig. (1.630 gr.). 78 fr.
- Manuel de serrurerie**, HENRIET. In-8<sup>o</sup>, 232 fig. 1924. (330 gr.) 21 fr.
- Cours de technologie du bois**, MASVIEL. In-4<sup>o</sup>, I : *Généralités*. 3<sup>e</sup> édit. 1926. (520 gr.), 23 fr. ; II : *Travail mécanique*. 2<sup>e</sup> édit. 1925. (610 gr.)..... 27 fr.
- Traité de menuiserie**, OSLET et JEANNIN. In-4<sup>o</sup>. I : *Menuiserie de bâtiments* (épuisé). II : *Métré* (épuisé). III : *Installations diverses. Ebénisterie et Layetterie* (1.370 gr.)..... 48 fr.
- Menuiserie, serrurerie, plomberie, peinture et vitrerie**, AUCAMUS. In-16, 247 fig., 2<sup>e</sup> édit. 1924. (520 gr.)..... 45 fr.
- Industrie du meuble**, BOISON. In-16, 1928. (510 gr.)..... 23 fr.
- Pour finir un meuble**, DEHEURLES. In-16. 1928. (315 gr.). 18 50
- Pour le tapissier amateur**, BEAURIEUX. In-16. 1928. (240 gr.) 18 50
- Manuel du tapissier-garnisseur**, BOISARD. 1928. (330 gr.). 18 fr.

## VII. — PLOMBERIE, CHAUFFAGE, FUMISTERIE, PEINTURE

- Traité pratique de la pose et l'entretien des canalisations de gaz**, BARBE. In-8<sup>o</sup>, avec 135 fig. 1910. (910 gr.)..... 30 50
- Métré de plomberie et d'électricité et série de prix s'y rattachant**, OSLET, LASCOMBE et CORDEAU. In-4<sup>o</sup>. (2.160 gr.)... 78 fr.
- Pour le plombier et le spécialiste en installations sanitaires**, par J. de THELLESME, ingénieur civil et LEDUQUE, entrepreneur de plomberie. (*En préparation.*)
- Chauffage, ventilation et fumisterie**, AUCAMUS. In-16, avec 277 fig., 2<sup>e</sup> édit. 1923. (480 gr.)..... 45 fr.
- Le chauffage des habitations**, DEBESSON. 730 fig. In-8<sup>o</sup>, avec 730 fig., 2<sup>e</sup> édit. 1920. (1.630 gr.)..... 136 fr.
- Notes sur les chaudières employées dans les installations de chauffage central**, LELEUX. In-8<sup>o</sup>, avec 43 figures. 1927. (220 gr.). 20 fr.
- Régimes variables de fonctionnement dans les installations de chauffage central**, NESSI et NISOLLE. 1925. (250 gr.)... 44 50
- Méthodes graphiques pour l'étude des installations de chauffage et de réfrigération en régime discontinu**, NESSI et NISOLLE. In-4<sup>o</sup>, avec 410 fig. 1929. (1.060 gr.)..... 84 fr.

- Distribution et réglage de la chaleur dans les installations de chauffage central**, NESSI et NISOLLE. In-4°. 1924. (150 gr.). 11 fr.
- Répartition générale de la chaleur dans les immeubles au moyen de centrales thermiques**, NESSI. In-4°, 12 fig. 1924. (220 gr.) 16- 50
- Pour le fumiste et le monteur de chauffage central**, par VALLIEZ, ingénieur et BELLAMI, constructeur, 1930 (205 gr.)..... 18 fr. 50
- Métre de fumisterie, chauffage, tôlerie, chaudronnerie, faïencerie**, GRANDJEAN. In-4°, 1.316 fig. (2.180 gr.)..... 78 fr.
- Pour le peintre vitrier**, BATAILLE, CHAPLET et DE THELLESME. In-16. 164 pages. 1922. (200 gr.)..... 14 50

### VIII. — TOPOGRAPHIE. — ROUTES

- Topographie appliquée aux travaux publics**, PRÉVOT et ROUX. I : *Instruments*. 2° édit. 1925. (670 gr.), 66 fr.; II : *Méthodes*, 2° édit. 1925. (990 gr.) ..... 80 fr.
- Cours de topographie de l'Ecole des maîtres-mineurs de Douai**, TISON. In-8°. I : 1928. (440 gr.). 44 fr.; II : 1928. (260 gr.), 28 fr.
- L'ouvrage complet ..... 66 fr.
- Manuel de topométrie**, BAILLAUD. In-8°, 93 fig. 1920. (800 gr.) 42 fr.
- Sur le terrain, Topographie usuelle**, LIGER. N. T. 1925. (180 gr.). 11 fr.
- Nouvelle méthode pratique et tables pour le calcul du mouvement des terres et de la zone d'emprise nécessaire à la construction de routes, voies ferrées, canaux**. CATTO, traduit de l'italien, par BOURGEOIS. In-8°. XII-251 p. 193 (320 gr.). 27 fr. 50
- Tables trigonométriques pour le tracé des courbes de chemins de fer, routes et canaux**, GAUNIN, HOUDAILLE et BERNARD. Nouv. édit. In-8°, avec 24 fig. 1922. *Nouv. tirage* 1930 (450 gr.)..... 47 fr.
- Tables tachéométriques**, NOMICOS. In-8°, 1928. (320 gr.). 50 fr.
- Routes et chemins vicinaux**, ROUX. 2° édit. 1924. (640 gr.). 53 fr.
- Les routes américaines**, ANTOINE. 2° édit. 1926. (150 gr.). 22 fr.
- Voie publique**, LEFEBVRE. In-16, avec fig. 2° édit. 1926. (750 gr.) 40 fr.

### IX. — PONTS. — VIADUCS. — TUNNELS

- Méthode de calcul des ponts métalliques**, MÉTOUR. In-8°, avec 236 figures. 1921. (1.410 gr.) ..... 112 fr.
- Ponts et ouvrages en maçonnerie**, ARAGON. 1909. (660 gr.). 50 fr.
- Ponts en bois et en métal**, ARAGON. In-16. 1911. (640 gr.). 50 fr.
- Calculs de résistance des ponts métalliques**, d'après les prescriptions ministérielles. DE BOULONGNE et BEDAUX. 1916. (1.160 gr.) 42 fr.

### FASCICULE 9 bis

### X. — HYDRAULIQUE. — DISTRIBUTION D'EAU ASSAINISSEMENT

- Machines hydrauliques**, par BERGERON. 1928. (1.120 gr.). 105 fr.
- Théorie du coup de bélier**, ALLIÉVI et GADEN. (690 gr.). 1921. 14 fr.
- Barrages conjugués et bassins de compensation**, G. LAPORTE. In-8°, 1929. IRIS et LILLIAD - Université Lille 1. .... 32 fr.



- La technique de la houille blanche**, PACORET. I : *Création et aménagement des chutes d'eau et des usines hydro-électriques*. 4<sup>e</sup> éd., 1925. 2 vol., (3.050 gr.), 266 fr. ; II : *Descriptions et études d'usines hydro-électriques aménagées ou projetées*. 3<sup>e</sup> éd. 1920. (1.040 gr.), 78 fr. 50 ; III : *Utilisation de l'énergie des chutes d'eau*. 3<sup>e</sup> éd. 1920. (1.870 gr.), 196 fr. ; IV : *Utilisation de l'énergie des forces hydraul., électrochimie, électro-metallurgie*. 3<sup>e</sup> éd. 1920. (1.290 gr.)..... 112 fr.
- Distributions d'eau**, DARIÈS. *Nouv. tir.* 1909. (680 gr.).. 53 fr.
- Traité d'adduction et de distribution d'eau**, GILBERT et MONDON, In 8°, 904 fig. et 8 pl., 2 vol. ensemble 1928 (2.500 gr.).. 285 fr.
- Règle Mognié**, pour le calcul des conduites..... 130 fr.
- Établissements des projets de distribution d'eau potable**, FRICK. LÉVY-SALVADOR. In-8°, 2<sup>e</sup> édit. 1926, 45 fig. (275 gr.).... 25 fr.
- Devis et cahiers des charges pour travaux communaux de distributions d'eau**, FRICK et CAUVIN. In-4°. 1920. (730 gr.) 44 50
- Assainissement des villes et égouts de Paris**, DAVERTON. In-8°. XVIII-794 pages. 1922. (900 gr.)..... 68 fr.

## XI. — NAVIGATION. — PORTS

- Rivières canalisées et canaux**, CUÉNOT. 1913. (1.060 gr.). 68 fr.
- Fleuves et rivières**, CUÉNOT. In-16, 232 fig. 1921. (910 gr.). 60 fr.
- Collection des grands ports français : Dunkerque, Calais, Boulogne.**  
H. MALO. 1920. (200 gr.), 12 fr. — *Le Port de Rouen*, DUPOUY. (190 gr.), 1920, 12 fr. — *Le port de Paris*, COLIN, 1921. (250 gr.), 15 fr. — *Nantes et Saint-Nazaire*, COLIN, 1921. (250 gr.), 15 fr. — *Le Port du Havre*, WEULERSSE, 1921. (250 gr.), 14 fr. — *La Rochelle et Bayonne*, VERGNIOL, 1921. (170 gr.), 10 fr. — *Le Port de Strasbourg*, ARNAUD. 1922. (230 gr.), 13 fr. — *Bordeaux-la Gironde*, LORIN. 1921. (220 gr.), 13 fr. — *Brest et Lorient*, DUPOUY. 1922. (210 gr.), 13 fr. — *Cette, Port-Vendres, Nice*, MARTIN et COMBY. 1922. (310 gr.), 13 fr. — *Le Port de Marseille*, LÉOTARD, 1922. (310 gr.) 13 fr. — *Caen, Dieppe, Cherbourg*, GIDEL, 1922. (240 gr.).. 16 fr.
- Le Port d'Alger**, DELVERT. 1923. (280 gr.)..... 13 fr.
- Le Rhin et le Port de Strasbourg**, LUCIUS. 1928. (260 gr.). 13 fr.
- Travaux maritimes**, LÉVY-SALVADOR et PRUDON. In-16, 2 vol. I : 1929 (675 gr.). 62 fr. 50. — II : (*En préparation.*)
- Ports maritimes**, DE CORDEMOY. 2 vol. in-16. 1920. (1.240 gr.). 90 fr.
- Exploitation des ports maritimes**, DE CORDEMOY. 175 fig. *Nouv. tir.* 1920. (600 gr.)..... 45 fr.

## XII. — ADMINISTRATION ET LÉGISLATION DES TRAVAUX PUBLICS

- Traité administratif des travaux Publics (édition refondue du Dictionnaire administratif des travaux publics de DEBAUVE)**, COURCELLE. In-8°, 3 volumes 1927. (3.100 gr.)..... 250 fr.
- Législation du bâtiment**, COURCELLE, 1930 (1295 gr.).... 120 fr.
- Manuel juridique des travaux publics**, MARIZIS et COT. 1925. (430 gr.)... IRIS - LILLIAD - Université Lille 1 ..... 56 fr.

- Occupations temporaires, Commentaires de la loi sur les dommages causés à la propriété privée par l'exécution des travaux publics.** PLONQUET. In-8°. 1909. (350 gr.)..... 11 fr.
- Canalisations d'éclairage, réglementation et jurisprudence,** REMAURY. In-8°. 1912. (420 gr.)..... 16 50

## FASCICULE 9

## CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS

- Revue générale des chemins de fer.** Publication mensuelle. Abonn. annuel: France, 120 fr.; Etranger, 160 fr. (145 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit). Le N° de l'année en cours. 11 fr.
- Aperçu de l'évolution des chemins de fer français de 1878 à 1928,** R. GODFERNAUX. In-8°, avec figures, 1928. (360 gr.).... 20 fr.
- Traité des chemins de fer,** MOREAU. In-4°. I : *Infrastructure*. (1.390 gr.), 56 fr.; II : *Superstructure*. (1.930 gr.), 70 fr.; III : *Matériel et traction*. (2.330 gr.), 84 fr.; IV : *Locomotives, accessoires*. (1.970 gr.), 77 fr.; V : *Exploitation, statistique*. (2.510 gr.), 98 fr.; VI : *Chemins de fer secondaires*. (1.960 gr.)..... 84 fr.
- Les chemins de fer à voie d'un mètre,** MUSTAPHA IBRAHIM BEY. In-4°, avec fig. 1922. (1.110 gr.)..... 63 fr.
- Exploitation technique des chemins de fer,** GALINE. 2° édit. 1924. In-16, 344 fig. 1 pl. (900 gr.)..... 73 fr.
- Exploitation commerciale des chemins de fer,** BONNAL CHATEL. 2° édition 1928. In-16 (840 gr.)..... 68 50
- Cours d'exploitation des chemins de fer,** U. LAMALLE, Tome I. *Exploitation commerciale.* In-4°, avec fig. 1929. (620 gr.). 45 fr.
- Construction et voie,** SIROT et BELORGEY. 2° édit. 1924. In-16. 317 fig., 14 pl. (810 gr.)..... 64 fr.
- Manuel pratique des poseurs de voies de chemins de fer,** SALIN et SOUSTELLE. In-16, avec 280 fig. 5° édit. 1925. (400 gr.). 28 fr.
- Locomotive et matériel roulant,** DEMOULIN et VIGERIE. 2° édit. 1924. In-16, 219 fig., 14 pl. (630 gr.)..... 60 fr.
- La locomotive,** LAMALLE. 498 p., 433 fig. 3° édit. 1927 (1.050 g.) 80 fr.
- Le mécanicien de chemin de fer,** GUÉDON, In-8°, 512 fig. 3° édit. 1920. (960 gr.)..... 50 fr.
- Electrification partielle du réseau de la Compagnie d'Orléans,** PARODI. In-4°, 215 figures. 1928. (930 gr.)..... 48 fr.
- Tramways, Métropolitains et Automobiles,** AUCAMUS et GALINE. 3° édit. JULIEN. In-16, 461 fig. 1 pl. 1924. (950 gr.)..... 75 fr.
- Monographies des réseaux de l'Est et du Nord,** H. LAMBERT. I : *Est*, 1907. (220 gr.), II : *Nord*. 1909. (230 gr.)..... 20 fr.
- Contrôle des chemins de fer et tramways,** DE LA RUELLE CHATEL. In-16. 2° édition 1929. (790 gr.)..... 58 fr.
- Cahiers des charges unifiés et spécifications techniques adoptés par les chemins de fer français,** VIOLET. 1925. Avec compléments à jour au 6 février 1930. (320 gr.)..... 35 fr.

## FASCICULE 10

## GÉOLOGIE. — MINES. — MÉTALLURGIE

## I. — GÉOLOGIE ET MINÉRALOGIE

- Dictionnaire de Géologie**, S. MEUNIER. 1926 (900 gr.)... 125 fr.  
**Œuvres géologiques de Marcel Bertrand**, recueillies par DE MARGERIE, 3 volumes in-8°. I, 1927 (1.750 gr.), 100 fr.; II, 1928: (1.650 gr.). 100 fr.; III, en préparation. L'ouvrage complet..... 300 fr.  
**Hydrologie et hydroscopie**, LANDESQUE. In-8°, 1920. (740 gr.) 50 fr.  
**Essai d'hydrogéologie. Recherche, étude et captage des eaux souterraines**, par le D<sup>r</sup> IMBRAUX. In-4°, xx-678 p., 1930 (1800 gr.). 270 fr.  
**Précipitations atmosphériques. Ecoulement et hydroélectricité**, J. LUGEON. In-8°, avec fig. et pl. 1928. (1.100 gr.)..... 75 fr.  
**Les sourciers et leurs procédés. La baguette, le pendule**, MAGER. In-16, 352 p. avec fig., 3<sup>e</sup> édit. 1926. (500 gr.)..... 42 fr.  
**Géologie et minéralogie appliquée**, CHARPENTIER. In-16, avec 116 fig., 2<sup>e</sup> édit. 1927. (960 gr.)..... 64 fr.  
**Notions élémentaires de cristallographie, géométrie et optique de minéralogie et de pétrographie**, BUTTGENBACH. In-8°, avec 145 fig. 1922. (200 gr.)..... 28 fr.  
**Tableaux des constantes géométriques des minéraux**, BUTTGENBACH. In-4°, avec 5 fig. 1918. (250 gr.)..... 21 fr.  
**Les minéraux et les roches**, BUTTGENBACH. In-8°, 5<sup>e</sup> édit. 1928, 592 fig. (1.320 gr.)..... 160 fr.  
**Les gîtes minéraux**, MEUNIER. In-8°, 1919. (800 gr.).... 49 fr.

## II. — MINES

- Annales des Mines**. Publication mens. Abt. annuel. Paris, 000 fr. Départ., 000 fr.; Etr., 000 fr. (000 fr. pour les pays ayant accepté l'échange du tarif postal réduit). Le n<sup>o</sup> de l'année en cours. 12 fr.  
**Etude pratique des minerais. Guide pour les missions d'études minières et les essais aux usines de traitement** N. DÉGOUTIN. In-8°, iv-429 p. 1930. (810 gr.)..... 85 fr.  
**Gîtes miniers et leur prospection**, ROUX-BRAHIC. 1919. (1.450 gr.)- 126 fr.  
**Guide pratique de la prospection des mines et de leur mise en valeur**, LECOMTE-DENIS, 4<sup>e</sup> édit. 1927. In-8°. (1.380 gr.). 110 fr.  
**Recherches minières. Guide pratique de prospection et de reconnaissance des gisements**. COLOMER. 4<sup>e</sup> édit. 1923. (530 gr.).... 54 fr.  
**Comment on crée une mine**, LECOMTE-DENIS. In-8°, 3<sup>e</sup> édit. 1913. (310 gr.)..... 16 50  
**Cours d'exploitation des mines**, HATON DE LA GOUPILLIÈRE et BÈS DE BERC. 4<sup>e</sup> édit. I: in-8°, avec 761 fig. 1928. (2.075 gr.). 189 fr. II, III, IV. (*En préparation*).  
**Exploitation des mines**, COLOMER. 3<sup>e</sup> édit. 1923. (590 gr.).. 53 fr.  
**Exploitation des mines métalliques**, CRANE et BORDEAUX. In-8°, avec 66 fig. IRIS-LELLIAD- Université Lille 1..... 22 fr.



- Causeries sur les flons métalliques**, P. AUDIBERT. In-8°, 1929. (475 gr.) ..... 33 fr.
- Ateliers modernes de préparation mécanique des minerais**, ROUX-BRAHIC. In-8°. 895 p., 425 fig. 1922. (1.490 gr.)... 168 fr.
- Traité pratique du broyage et tamisage des matériaux et minerais**, RATEL. In-8°, 405 fig. 1920. (1.880 gr.)..... 133 fr.
- La technique du mineur**, MARTEL. 2° éd. 1929. (1.550 gr.). 130 fr.
- Législation minière et contrôle des mines**, CUVILLIER, DE BUTTET. 2° édit. 1929. (760 gr.) ..... 67 fr.

## FASCICULE 10 bis

## III. — MÉTALLURGIE

- Chimie physique des métaux**, SCHENCK et LALLEMENT. In-8°. 1911. (750 gr.) ..... 42 fr.
- Le chauffage industriel, introduction à l'étude de la métallurgie**, LE CHATELLIER. In-8°, avec 96 fig. 3° édit. 1925. (1.110 gr.). 80 fr.
- L'économie thermique dans la sidérurgie**. SCHLIPKOTER, traduit de l'allemand par WEYAND et BECHTER, 1930. (870 gr.)... 29 fr.
- Les fours industriels**. TRINKS, traduit par SCHUBERT. Tome I. (*En préparation.*)
- Leçons de sidérurgie**, ANGLÈS D'AURIAC et ESTOUR. In-8°. 2° édit. (*en préparation.*)
- Calculs métallurgiques**, RICHARDS et LALLEMENT. 1922. (1.710 gr.). 114 50
- Essais et analyses des produits sidérurgiques**, SERRE. In-8°, avec 39 fig. 1925. (280 gr.)..... 26 50
- Manuel des laboratoires sidérurgiques. Méthodes analytiques conventionnelles de la communauté** ARBED-TERRES-ROUGES. In-8°, 312 p. 67 fig. 1927. (510 gr.)..... 30 50
- Calcul du lit de fusion des hauts fourneaux**, PAWLOFF et DLOUGATCH. In-8°, avec fig. 1924. (550 gr.)..... 35 fr.
- Précis de métallographie microscopique et de macrographie**, GUILLET et PORTEVIN, 117 pl. 2° édit. 1924. (1.180 gr.) . . 105 fr.
- Les méthodes d'étude des alliages métalliques**, GUILLET. In-8°, avec 577 fig. 1923. (1.210 gr.)..... 98 fr.
- La corrosion des métaux**, EVANS. In-8°. 1928. (640 gr.).. 60 fr.
- Les impuretés dans les métaux. Leur action sur la structure et les propriétés des métaux**, par C.-J. SMITHELLS, 1930 (405 gr.). 50 fr.
- Actualités métallurgiques**, DEJEAN. 1925. (560 gr.).... 50 fr.
- Trempe, recuit, revenu**, GUILLET. I : *Théorie*, 1927. (870 gr.), 121 fr. ; II : *Pratique*, 1928. (600 gr.), 83 fr. ; III : *Résultats. (En préparat.)*
- Etude sur les métaux industriels**, TURPIN. 1919. (380 gr.). 22 fr.
- Essais de réception des métaux**, CHARPY, In-8° 1921. 25 fr.
- Les essais de fatigue des métaux**, BREUIL. 1925. (120 gr.).. 9 50
- Le contrôle de la dureté des métaux dans l'industrie**. ROUDIÉ, 1930 (325 gr.)..... 26 fr.
- L'usure des métaux**, BREUIL, In-16. 1925 (80 gr.)..... 7 fr.
- Manuel pratique de fonderie. Cuivre, Bronze, Aluminium. Alliages divers**, DUPOIN. In-16. 1930 (1.100 gr.) .... 19 fr.

- Pour les praticiens de la fonderie : modeleurs, mouleurs, fondeurs,** LEFEBVRE. In-16, 143 fig. 1928. (240 gr.)..... 19 fr.  
**La fabrication de la fonte malléable,** C. BUSQUET. In-8<sup>o</sup>, 1929. (315 gr.)..... 36 fr.  
**Comment on pratique la fonderie,** DUPONCHELLE. 1921. (1.070 gr.)..... 77 fr.  
**La technique du modèle de fonderie,** MASVIEL. 1927. (600 gr.) 53 fr.  
**Le modelage mécanique,** CHAMPDECLER. In-4<sup>o</sup>, 1920. (710 gr.) 33 50  
**Aciers, fers, fontes,** JACQUET. I. 2<sup>e</sup> édit. 1923 : 160 fig. (320 gr.), 18 fr.; II : 133 fig., 2<sup>e</sup> édit. 1927. (320 gr.)..... 18 fr.  
**La fonderie d'acier,** HALL, trad. par DROUOT. 1925. (940 gr.), 80 fr.  
**Le traitement thermique préliminaire des aciers doux et demi-durs,** GIOLITTI. In-8<sup>o</sup>, avec figures. 1921. (1.210 gr.)... 70 fr.  
**Déformations permanentes et ruptures des aciers,** P. REGNAULD. In-8<sup>o</sup>, 1929. (180 gr.)..... 22 fr.  
**Installations d'aciéries et laminoirs,** JACQUES. In-8<sup>o</sup>, 3 fascicules I et II épuisés, III 1918. (300 gr.)..... 42 fr.  
**Les aciers spéciaux. Historique, propriétés, traitements et fabrication.** MARS, traduit de l'allemand par PÉTROU. (*En préparation.*)  
**Etudes sur les laminoirs,** PUPPE et DEMOLE. 1922. (1.370 gr.) 98 fr.  
**Laminoirs à fers marchands,** RICCHARME. In-4<sup>o</sup>, 1929. (460 gr.) 55 fr.  
**Soufflantes et compresseurs centrifuges,** MONTEIL. In-8<sup>o</sup>, 1922. (210 gr.)..... 18 50  
**Traitement métallurgique des minerais complexes (zinc, cuivre, plomb, etc.),** ROUX-BRAHIC. In-8<sup>o</sup>, 1927. (1.500 gr.)..... 147 fr.  
**Les métallurgies électrolytiques et leurs applications,** LEVASSEUR. In-8<sup>o</sup>, 1921. (380 gr.)..... 25 fr.  
**L'électrochimie et l'électrometallurgie,** LEVASSEUR. In-8<sup>o</sup> avec 128 fig., 3<sup>e</sup> édit. 1928. (700 gr.)..... 71 fr.  
**Electrometallurgie des solutions aqueuses. Electrochimie appliquée.** J. BILLITER, traduit par SALAUZE..... (*En préparation.*)  
**L'aluminium dans l'industrie,** ESCARD. In-8<sup>o</sup>, 1921. (1.090 g.) 75 50  
**La galvanisation du fer,** BABLIK-SCHUBERT. 1927. (250 gr.) 54 fr.  
**Manuel pratique de soudure autogène,** GRANJON et ROSEMBERG. In-8<sup>o</sup>, avec figures. 2<sup>e</sup> édit. 1929 (560 gr.)..... 31 fr.  
**La soudure électrique,** VARINOIS. In-8<sup>o</sup>, 1923. (1.270 gr.) 91 fr.  
**Pour le soudeur-braseur,** LEFÈVRE. In-16. 1926. (165 gr.) 17 fr.  
**L'électrometallurgie du fer et de ses alliages,** ESCARD. 1920. (1.840 gr.)..... 133 fr.  
**Les métaux des terres rares,** SPENCER et DANIEL. In-8<sup>o</sup>, 1922. (710 gr.)..... 56 fr.

#### IV. — PIERRES ET MÉTAUX PRÉCIEUX

- Etude résumée des métaux précieux. Extraction. Récupération. Séparation,** par W. LAATSCH. Traduit de l'allemand par A. SCHUBERT, 1930. In-IV de VI-151 pages (290 gr.)..... 32 fr.  
**Guide pratique pour la recherche et l'exploitation de l'or en Guyane française,** LEVAT. In-8<sup>o</sup>, avec 6 pl. 1898. (610 gr.) 25 fr.  
**Désargement des plombs,** ROSWAG. In-8<sup>o</sup>, 1884. (900 gr.) 84 fr.  
**La synthèse du rubis,** FRÉMY. In-4<sup>o</sup>, 22 pl., col. 1891. (650 gr.) 70 fr.

## CONDITIONS GÉNÉRALES DE VENTE

**EXPÉDITIONS.** — Les ordres sont exécutés contre remise de valeur sur Paris, mandat-poste, versement au compte de chèques postaux PARIS 7545 ou bien, sur le désir du client, contre remboursement lorsque ce mode de recouvrement est possible. Sauf avis contraire du destinataire, l'envoi est fait par poste ou colis postal à ses risques et périls ; *il est toujours recommandé pour l'étranger*, mais ne l'est que sur demande pour la France et ses colonies.

Les frais de port, ainsi que ceux de remboursement, de recommandation ou d'assurance sont à la charge du client. Le poids net indiqué au catalogue pour chaque ouvrage permet d'évaluer les frais de port en se reportant à un barème envoyé franco sur demande.

**COMPTES COURANTS.** — Un compte peut être ouvert lorsque l'importance des commandes et surtout leur fréquence le justifient ; les clients en compte reçoivent en février, mai, août et novembre, pour les trois mois précédents, un relevé qu'ils paient dans les conditions indiquées ci-après.

**RÈGLEMENT.** — France et Afrique française du Nord : Valeur sur Paris, mandat-poste ou versement au compte de chèques postaux PARIS 7545. Les clients en compte peuvent, s'ils le désirent, s'acquitter au moyen d'une traite présentée à leur domicile les 5 mars, 5 juin, 5 septembre et 5 décembre, avec majoration, pour frais de recouvrement, de 2 fr. 50 en France, 3 fr. 50 en Afrique du Nord.

Exceptionnellement, et afin de faciliter les débuts des jeunes ingénieurs français les fournitures de 200 francs et au-dessus d'ouvrages édités par la librairie DUNOD peuvent être payées à raison de un quart du prix des livres et le montant des frais de port joints à la commande ou contre remboursement, le reliquat en trois paiements trimestriels égaux.

**Étranger et Colonies françaises :** Chèque sur Paris, ou mandat-poste pour les pays faisant partie de l'Union Postale. (Les clients résidant dans les pays suivants : Allemagne, Belgique, Danemark, Grand-Duché de Luxembourg, Pays-Bas, Pologne, Suède et Suisse peuvent effectuer leurs règlements par versements au compte de chèques postaux PARIS 7545).

### RENSEIGNEMENTS DIVERS

Indépendamment des livres indiqués dans son catalogue, la librairie DUNOD fournit tous les ouvrages français et étrangers.

La fourniture d'ouvrages étrangers, de spécimens, livraisons et collections de revues françaises et étrangères, ainsi que de renseignements sur les mêmes catégories de publications fait l'objet de conditions spéciales figurant dans chaque livraison de la *Bibliographie des Sciences et de l'Industrie* ou qui sont communiquées sur demande.

La *Bibliographie des Sciences et de l'Industrie*, qui donne 8 fois par an les titres de tous les livres techniques récemment parus en France et des principaux ouvrages de même nature publiés à l'étranger, ainsi que les sommaires des revues scientifiques françaises le plus réputées — prix d'abonnement 10 fr. pour la France et ses colonies, 20 fr. pour l'étranger — est servie gratuitement aux clients de la librairie DUNOD qui en font la demande.

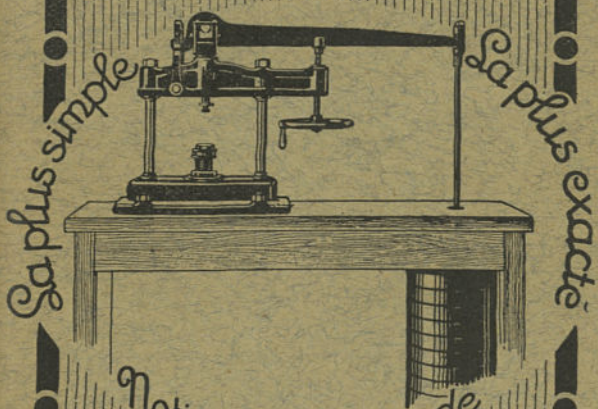
Les fascicules du catalogue général énumérés dans l'extrait qui précède et qui donnent, par spécialité, les sommaires des ouvrages publiés par la librairie DUNOD sont envoyés franco sur demande.







# MACHINE A BILLER POUR ESSAIS DES MÉTAUX



*Notice sur demande*

## LÉON BOLLÉE

USINES DUMANS  
SARTHE

R.C. 3520

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

Société française des Automobiles MORRIS-LÉON-BOLLEE

Siège Social : 131, Avenue de Malakoff, PARIS (16<sup>e</sup>)

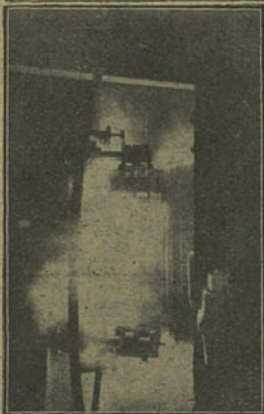
MÉTALLURGIE.

Téléphone : Passy 13-13, 80-83

RIEDEL, IMP. ALUUV



Curieux instantané  
d'un **COUP DE FEU**



AU COLLECTEUR  
D'UNE COMMUTATRICE  
réparé définitivement  
en quelques minutes  
**SANS AUCUN DÉMONTAGE**  
avec le

**CIMENT ISOLANT  
VANTHOM**

*Produit unique permettant  
la restauration immédiate,  
radicale et sans démontage :*

*Des micas brûlés entre les lames des collecteurs ;*

*Des défauts d'isolement, courts-circuits, avaries diverses de machines ou appareils électriques.*

*Remarquable dans la fabrication et la réfection de résistances, éléments chauffants de réchauds, étuves, fers à repasser, à friser, etc.*

*Restauration de porcelaines, faïences, verrerie, lustrerie, objets d'art, bibelots, etc.*

**LES PLUS HAUTES RÉFÉRENCES**

**—: NOTICE SUR DEMANDE —:**

**CIMENT VANTHOM**

IRIS-COLLAB (Université Lille 1 RD)

# TRAVERSES CHEMIN DE FER

Injectées, entaillées et percées

SOCIÉTÉ ANONYME DES

*Etabl<sup>ts</sup>* **ARMAND BEAUMARTIN**

Capital : 4.000.000 de frs

**BORDEAUX — 33, RUE DE SAINT-GENÈS**

**TÉLÉPHONE 74.28**

Adresse télégr. : **ARMAND BEAUMARTIN-BORDEAUX**

# POTEAUX EN BOIS

Pour transport de **FORCE, LUMIÈRE ÉLECTRIQUE, etc.**

**POTEAUX pour MINES et HOUILLÈRES**

*Parés, Bois de CONSTRUCTION*

**Pieux, Planches, Piquets, etc.**

**20 CHANTIERS D'INJECTION**

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

