









ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

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

GAGES — Élaboration des métaux dérivés du fer, II 1

*Ce volume est une publication de l'encyclopédie  
scientifique des Aide-Mémoire : L. Isler, Secrétaire  
Général, 20, boulevard de Courcelles, Paris.*

N° 272 B

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

---

# ÉLABORATION

DES

## MÉTAUX DÉRIVÉS DU FER

---

### RÉACTIONS MÉTALLURGIQUES

PAR

L. GAGES

Capitaine d'artillerie

---

PARIS

GAUTHIER-VILLARS  
IMPRIMEUR-ÉDITEUR  
Quai des Grands-Augustins, 55

MASSON et C<sup>ie</sup> ÉDITEURS,  
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE  
Boulevard Saint-Germain, 120  
(Tous droits réservés)

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

---

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



# RÉACTIONS MÉTALLURGIQUES

---

## NOTIONS PRÉLIMINAIRES

---

### I. CARACTÉRISTIQUES DES RÉACTIONS MÉTALLURGIQUES

On apprend, en chimie, à préparer tous les métaux, usuels ou non, par des procédés plus ou moins compliqués, donnant ces métaux en quantité souvent peu appréciable et coûtant plus ou moins cher. Ces procédés de laboratoire sont pour la plupart inapplicables en grand, soit à cause des appareils délicats qu'ils exigent, soit parce qu'ils ne sont pas rémunérateurs.

Or, les opérations industrielles doivent être *rémunératrices* ; à la nécessité de faire de bons produits s'ajoute celle de les obtenir au plus bas prix possible. Et c'est cette question économique qui fait que l'élaboration des métaux ferreux ne saurait être considérée comme une branche de la chimie proprement dite : c'est à la *chimie industrielle* qu'elle ressortit, c'est-à-dire à l'art d'élaborer les différents produits en procurant des bénéfices.

Sous un autre point de vue, l'élaboration des métaux ferreux doit être distinguée de la chimie de laboratoire.

Généralement, en *chimie des métaux*, on ne recherche que l'isolement du métal dans le plus grand état de pureté possible afin d'étudier le métal-type pour ainsi dire.

Pour élaborer un métal ferreux, on ne cherche pas à réaliser, soit un corps simple, le *fer*, soit un corps composé à proportion de constituants nettement définis, tel qu'un *carbure de fer* ou *siliciure de fer*, etc., mais un métal se rapprochant plus ou moins du métal-type, le *fer*, ou d'un de ses composés avec le carbone, le silicium, le manganèse, etc., possédant surtout des propriétés déterminées de résistance aux différents efforts (*ténacité, malléabilité*, etc.).

L'étude des *réactions métallurgiques* offre donc un certain nombre de caractères distinctifs destinés à donner satisfaction aux divers desiderata que nous venons de formuler ; ces réactions, provoquées à cet effet, peuvent souvent paraître, à première vue, par trop indirectes, et bien éloignées des réactions directes plus rapides qu'on réaliserait aisément dans un laboratoire. Il importe de se rappeler qu'en réalité on se trouve en présence d'un problème économique à

## CARACTÉRISTIQUES DES RÉACTIONS MÉTALLURGIQUES 7

résoudre dont les données varient avec les *conditions locales* de l'usine productive, les *distances* qu'ont à parcourir, pour aboutir à l'usine, les diverses matières premières, la *réduction au minimum* des divers produits d'élimination, la *nécessité d'un chauffage* pas trop onéreux, etc,

Ainsi, non seulement les procédés industriels diffèrent forcément des procédés de laboratoire, mais encore d'une usine à l'autre, les divers procédés peuvent présenter des variantes caractéristiques.

Ces restrictions étant faites, il est clair que la chimie est la science avec laquelle la métallurgie a les plus grands rapports et sans le secours de laquelle elle serait impuissante à réaliser de véritables progrès.

D'empirique qu'elle était, il y a trente ans à peine, l'élaboration des métaux ferreux est devenue de plus en plus rationnelle et l'on peut affirmer qu'il n'est pas un ingénieur sidérurgiste, vraiment digne de ce nom, qui ne s'applique à adapter aux conditions pratiques qui lui sont imposées, les données fournies par la science sur cet art si complexe.

L'étude du *Travail des métaux dérivés du fer*, entreprise dans un volume spécial de cette *Encyclopédie*, montre encore que le rôle des phé-

nomènes chimiques n'est pas tout à fait épuisé quand le métal a été coulé, elle met en relief toute une série de faits ayant, avec la chimie, des rapports très étroits et qui s'accomplissent dans les opérations calorifiques de *trempe*, de *recuit* et de *revenu*, pour ne citer que les plus importantes. On a vu toutefois que cette partie de l'art sidérurgique ressortissait surtout à la physique et à la mécanique.

Inversement, l'étude de l'élaboration des métaux ferreux montrera qu'elle a quelques liens avec ces deux dernières sciences. La production de ces métaux exige, en effet, l'emploi d'engins ou d'appareils plus ou moins perfectionnés par l'action desquels il est possible de les réaliser *sous leur premier état*, qui est ce qu'on appelle leur *état brut*, quitte à en obtenir plus tard des *états dérivés*, ce qui constitue le fond même des procédés de travail.

## II. MATIÈRES CONSTITUANT L'APPORT MÉTALLIQUE

Les matières constituant l'apport métallique sont des substances minérales appelées *minerais*.

L'étude de ces substances ressortit directement à celle de la *fabrication de la fonte*, aussi devons-nous nous borner, à leur sujet, aux

notions strictement nécessaires à la compréhension des procédés que nous nous proposons d'analyser <sup>(1)</sup>.

C'est la fonte, qui est, comme on le sait, le *métal-mère* de la métallurgie du fer, elle est obtenue en traitant le minerai au haut-fourneau en présence de réactifs appropriés. Comme le but principal de cette métallurgie est surtout d'obtenir des *fers* ou des *aciers*, on a donné au traitement du minerai de fer au haut-fourneau le nom de *procédé indirect* parce qu'il ne fournit pas ces métaux à l'état brut, mais un produit intermédiaire dans lequel le fer se trouve plus ou moins concentré et dont on extraira, soit un *fer*, soit un *acier*, par un procédé ultérieur d'épuration appelé *affinage*.

La *méthode directe* est la méthode primitive de transformation du minerai de fer, en fer ou en acier, sans passer par la fonte. Il semble, à première vue, que c'est elle qui devrait être appliquée, car ne paraît-il pas plus onéreux pour obtenir du fer doux ou de l'acier de traiter d'abord à grands frais le minerai à haute température pour en retirer la fonte ?

---

(1) DE BILLY. — *Fabrication de la fonte*. Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire. Gauthier-Villars et Masson, éditeurs.

Au lieu de traiter les minerais de fer au haut-fourneau, *en incorporant au produit fondu* (par le fait même de l'opération effectuée au contact du combustible et de la présence de corps d'addition nécessaires pour l'élimination des matières étrangères du minerai), *une quantité notable de corps*, dont il faudra se débarrasser ultérieurement, ne vaudrait-il pas mieux amener simplement ces minerais à l'état d'éponges douces ou carburées selon qu'on veut du fer ou de l'acier, en un mot réaliser ce qu'on a récemment appelé le « direct process » ?

Cette transformation du minerai en fer métallique dans une seule et même opération, réalisée par les peuplades sauvages des temps anciens ou des pays lointains, ne devait pas cesser d'être l'objet des efforts persévérants des élaborateurs d'acier. Il ne saurait être question d'énumérer ici les nombreux essais tentés sur ce sujet depuis le commencement du siècle ; ces essais n'ont encore donné aucun résultat véritablement industriel.

Le traitement direct exige, en effet, un minerai exceptionnellement riche en fer, sinon l'éponge métallique contient une proportion tellement élevée des matières terreuses accompagnant le fer dans son minerai que, sans fusion, l'épuration en est impossible.

L'expérience a prouvé que la seule formule rationnelle, en l'état actuel de l'industrie métallurgique, pour traiter le minerai de fer *constitué généralement par un oxyde*, consistait à faire succéder deux opérations bien distinctes : l'une, de *fusion réductive* qui donne naissance à la fonte, soit à un composé multiple de fer avec plus ou moins de corps étrangers réduits en même temps que lui (Mn, Si, Ph, S, etc.) ou incorporés et associés directement avec lui (*carbone*) ; l'autre, *d'affinage* qui produit le fer ou l'acier, par combustion plus ou moins complète des corps étrangers.

Les procédés de *fusion réductive* sont du domaine de la fabrication de la fonte ; nous ne nous en occuperons pas.

Les procédés *d'affinage* constituent l'objet même de la présente étude.

Laissant de côté la classification générale et la description des minerais de fer, nous nous bornerons aux notions indispensables à connaître, pour l'exposé des procédés d'affinage, concernant leur richesse et leur pureté.

Au point de vue industriel, on peut considérer comme *riches*, les minerais contenant de 55 à 70 % de fer ; comme *moyens*, ceux qui en contiennent 30 à 55 %. Quand la proportion de

fer est inférieure à 30 %, les minerais sont dits *pauvres* ; au-dessous de 20 %, leur traitement n'est plus rémunérateur.

Les minerais *purs* sont ceux qui ne contiennent que peu ou point de soufre ou de phosphore.

Le soufre et le phosphore sont les deux grands ennemis de la sidérurgie du fer, il n'est pas de procédé d'affinage bien compris dans lequel on ne cherche à provoquer des réactions susceptibles de les éliminer du produit final.

Les fers et aciers sulfureux se forgent et se soudent mal, le métal est caractérisé par l'apparition de légères déchirures appelées *criques*, lorsqu'on le soumet à un travail quelconque de déformation à chaud.

Les fers et aciers phosphoreux se travaillent assez bien à chaud, mais ils sont cassants à froid.

Les théories ultérieures montreront que si le problème de la déphosphoration peut être considéré comme résolu, il n'en est pas de même de celui de la désulfuration.

Or, s'il est vrai que le soufre peut être éliminé, sinon en totalité, du moins en grande partie, au haut-fourneau, la théorie de ce dernier appareil montre à l'évidence que la déphosphoration ne saurait s'y accomplir.



Le traitement des minerais phosphoreux donnera toujours des fontes phosphoreuses ; même dans le cas le plus favorable, et en supposant qu’on puisse marcher d’une façon continue et sans danger en allure extra-froide, on n’éliminera que les  $\frac{2}{3}$  du phosphore du minerai.

On voit donc que l’élaborateur de fer ou d’acier devra compter avec ce métalloïde dont la présence aura été constatée dans la fonte ; c’est là une question du plus haut intérêt.

Les minerais de fer n’ont pas que des éléments nuisibles associés au métal principal ; il s’en trouve heureusement d’autres dont l’action sera bienfaisante, soit parce qu’ils provoqueront des réactions utiles dans les procédés d’élaboration, soit parce que par leur présence même, ils procureront au métal brut des propriétés précieuses. Ce sera le cas du *manganèse*, du *chrome*, etc.

### III. QU’EST-CE QUE L’AFFINAGE ?

Avant d’aborder l’étude des procédés d’affinage, il importe de donner quelques définitions et d’exposer les principes généraux qui leur sont communs.

**1. Définition.** — *L'affinage est une opération qui a pour but d'épurer les métaux-mères ; le métal-mère dans la métallurgie du fer est la fonte.*

C'est par oxydation qu'on provoque généralement l'élimination partielle ou presque complète des éléments étrangers accompagnant le fer dans la fonte.

Pendant l'oxydation peut ne pas être l'unique action déterminant l'affinage. Si l'on admet que l'on dispose déjà de fers et d'aciers de qualités déterminées obtenus d'ailleurs par un procédé quelconque d'élaboration, on conçoit qu'en réalisant la fusion simultanée de ces métaux avec une quantité donnée de fonte, on puisse répartir les éléments étrangers de cette fonte dans une plus grande masse ferreuse et en diminuer, par suite, la proportion dans la masse métallique totale.

Ce sera une sorte d'affinage indirect dans lequel cependant interviendra encore l'action oxydante dans une certaine mesure, comme on le verra ultérieurement.

Supposons, néanmoins, pour les nécessités de notre exposition didactique, que l'affinage ne soit dû qu'à une action oxydante, action dominante dans le plus grand nombre de procédés d'élaboration et rarement exclue dans les autres.

**2. Agents oxydants.** — Le principal agent d’oxydation est l’*oxygène* de l’air qui se combine directement à la plupart des corps, pourvu que la température soit suffisamment élevée.

Certains oxydes de fer, naturels ou artificiels, facilement décomposables, peuvent servir d’agents d’oxydation, ceux de fer notamment. Qu’ils soient ajoutés au début ou en cours de travail ou qu’ils se forment par l’action oxydante de l’air à la surface du métal à affiner, ils servent de véhicule à l’oxygène de l’atmosphère pour le faire pénétrer dans la masse métallique d’après un mécanisme exposé plus loin.

**3. Produits de l’oxydation.** — L’affinage se réalisant par oxydation, est, par suite, toujours accompagné d’un *déchet* ; ce déchet se produit soit à l’état plus ou moins liquide ou pâteux, soit à l’état gazeux et le plus souvent dans une même opération à ces deux états simultanés. Il est même presque impossible d’éviter que le métal principal, le *fer*, ne figure pas pour une certaine part dans ce déchet.

Le *déchet liquide*, ou mieux à des degrés divers de fluidité, est constitué par ce qu’on appelle les *scories* et les *laitiers*.

Les scories sont des silicates retenant plus particulièrement les oxydes métalliques ; on

réserve le nom de *laitiers* aux silicates contenant principalement des bases terreuses.

Les scories ont parfois un rôle utile ou nuisible dans l'appareil d'élaboration qui les a engendrées ; on les utilise dans quelques cas pour provoquer certaines réactions nécessaires.

Les laitiers d'affinage sont aussi quelquefois utilisés, même pour des usages étrangers à l'art sidérurgique.

Les *déchets gazeux* se répandent souvent dans l'atmosphère sans utilisation ou sont réunis à ceux qui proviennent de la chauffe du four, pour des chauffages accessoires, avant de passer à la cheminée.

Dans les anciens procédés, le carbone et le soufre étaient à peu près les seuls corps dont l'élimination pouvait se faire sous forme de gaz ; avec les hautes températures des méthodes actuelles, le soufre, le manganèse et le fer lui-même peuvent se volatiliser partiellement en cours ou en fin d'opération.

**4. Mécanisme de l'affinage par oxydation.** — Supposons un bain de fonte fondue dans un bassin peu profond et exposée à l'action oxydante de l'air.

Les éléments les plus avides d'oxygène absorbent directement ce gaz ; ces éléments

sont, rangés dans l'ordre d'oxydabilité : le *silicium*, le *manganèse*, le *phosphore*, le *carbone*, etc.

Cependant l'oxygène se portera aussi, et souvent de préférence, à cause de l'influence des masses, sur le *métal dominant* ; l'oxydation de ce dernier, vu son contact mieux assuré avec l'air, sera plus facile.

Cette oxydation du métal principal sera, d'ailleurs, d'autant plus énergique que le courant d'air sera plus rapide et plus abondant, *mais cette oxydation ne sera, jusqu'à un certain point, que temporaire.*

A mesure que le métal principal absorbe de l'oxygène en se transformant en *oxyde supérieur*, celui-ci le cède aux éléments plus oxydables qui se trouvent disséminés dans le bain métallique en étant ramené à l'état de *protoxyde*.

Le *métal dominant*, le *fer*, ne sert donc, en quelque sorte, que de véhicule pour transporter l'oxygène de l'air aux éléments étrangers qu'il s'agit d'éliminer.

Il suit de là qu'on peut hâter l'épuration et diminuer le déchet en mêlant au métal une certaine dose de l'oxyde en question ou de silicates de fer basiques pour les raisons exposées ci-après.

Pour que cette réaction se produise, il faudra assurer un contact intime entre l'oxyde du métal et les éléments à éliminer.

Or, l'oxyde étant plus léger que le métal reste, en général, à la surface du bain, surtout quand il peut se former un silicate, ce qui arrive dans le cas de l'affinage de la fonte, ou quand on opère dans un fourneau à parois siliceuses (*briques ordinaires, quartz, etc.*).

Ce n'est donc pas par l'action directe des oxydes supérieurs du fer que se fait surtout l'oxydation du bain, mais par l'action des silicates de fer. Dès que le silicium aura pu s'oxyder, la silice formée saturera les oxydes supérieurs facilement réductibles, empêchera leur action sur les éléments plus oxydables, tels que le manganèse, le phosphore, le carbone, etc.

Ce n'est que lorsque la formation de la silice sera arrêtée et que sous l'action continue de l'atmosphère du bain, les silicates se surchargeront en ces oxydes en devenant basiques, que l'affinage pourra continuer.

Il ne faut pas oublier, en effet, que la silice paraît se combiner avec les bases en proportions indéterminées.

Il y aura donc oxydation permanente du métal brut par les oxydes supérieurs de fer tenus en

suspension par les silicates basiques ; ces oxydes, à leur tour, se réoxyderont à l'air, rendant plus basiques les silicates qui les tiennent en suspension et ainsi de suite.

Pour activer l'affinage, on pourra être amené à *brasser* énergiquement la masse ; ce brassage sera effectué à main d'homme ou mécaniquement, ou encore par de l'air sous pression envoyé à travers le bain de fonte en fusion ; c'est ce dernier moyen qui caractérise l'un des plus importants procédés d'affinage.

Il y aura lieu d'éviter l'excès de silicium dans les bains de fonte soumis à l'affinage ; car, avec excès de silicium, les silicates resteraient longtemps acides ; l'oxydation, par la scorie, serait retardée d'autant ; par suite, l'affinage serait plus onéreux.

On verra, plus tard, combien cet excès de silicium est nuisible quand on veut débarrasser la fonte d'éléments étrangers donnant, par l'affinage, des oxydes que la silice formée par l'oxydation initiale du silicium déplace de leurs combinaisons avec les bases. On conçoit, en effet, que, dans ce cas, l'élimination de ces éléments puisse être rendue impossible si, une fois libres, leurs oxydes sont réduits par l'oxyde de carbone engendré lors de la décarburation.

#### IV. APERÇU GÉNÉRAL SUR LES PROCÉDÉS D'ÉLABORATION OU D'AFFINAGE

La classification qui suit ne présente aucun caractère absolu, mais elle paraît répondre le mieux aux nécessités d'une exposition didactique.

Les procédés d'affinage peuvent se diviser en deux grandes classes, si on ne considère que l'état sous lequel est produit le métal en fin d'opération.

Les procédés donnant le métal brut à l'état liquide, sont vraiment modernes, leur origine remontant à moins de cinquante ans.

Le procédé du creuset est d'origine bien plus ancienne, mais ce n'est qu'après lui avoir appliqué le chauffage Siemens qu'on a pu étendre la série autrefois si restreinte des métaux ferreux qu'on y pouvait élaborer. Le principe sur lequel repose ce procédé est si différent des principes servant de base aux autres fabrications qu'il est nécessaire d'en constituer une étude séparée ; c'est ce qui a été fait au dernier titre de cet ouvrage.



1 <sup>re</sup> classe		2 <sup>e</sup> classe	
Métal obtenu à l'état pâteux et en masse relativement faible		Métal obtenu à l'état liquide et en grande masse, au moins dans les procédés Bessemer et Martin Siemens	
Le métal brut est plus ou moins intimement mélangé avec les impuretés.		La température est suffisante pour amener à la fusion le métal et les impuretés; ces dernières s'en séparant par liquation dans l'appareil même d'élaboration.	
I	II	I	II
Procédé d'affinage au bas-foyer, avec les variantes suivant les régions d'exploitation; au charbon de bois.	Procédé du puddlage à la main ou mécanique; à la houille ou au gaz	Procédé Bessemer acide ou basique. Température obtenue par la combustion intermoléculaire	Procédé Martin-Siemens acide, basique ou neutre. Température obtenue à l'aide de gazogènes et des récupérateurs Siemens ou de régénérateurs à pétrole.
			III
			Procédé du creuset. Température obtenue comme dans le procédé Martin. Quelquefois le chauffage à la houille est conservé.

## RÉACTIONS MÉTALLURGIQUES

---

Ce volume, consacré à l'étude des *réactions métallurgiques* qui s'opèrent dans les divers appareils d'élaboration des métaux dérivés du fer, comprendra trois titres :

TITRE I. — Métal élaboré à l'état pâteux.

TITRE II. — Métal élaboré à l'état liquide, *Bessemer et Martin*.

TITRE III. — Métal élaboré à l'état liquide, *au creuset*.

---

## TITRE PREMIER

---

### MÉTAL ÉLABORÉ A L'ÉTAT PÂTEUX

Les procédés donnant le métal à l'état pâteux sont au nombre de deux :

1° L'*affinage au bas-foyer*.

2° Le *puddlage*.

L'étude du présent titre se rapportera principalement au *puddlage* ; car, d'une part, le bas-foyer disparaît de jour en jour, et, d'autre part, une fois la loupe obtenue, la série des transformations qu'on lui fait subir est identique dans les deux procédés.

#### NOTIONS GÉNÉRALES CONCERNANT LE BAS-FOYER

Le procédé du *bas-foyer* fut exclusivement employé jusqu'à la fin du siècle dernier avec ses différentes variantes de travail ; il est encore

appliqué en certaines régions, mais il tend de plus en plus à disparaître pour les motifs suivants :

1° Il est difficile d'éliminer complètement et régulièrement le carbone de la fonte en traitement ; l'affinité du combustible pour la fonte avec laquelle il est en contact s'oppose au but à atteindre, de là la nécessité de tours de main spéciaux.

2° La méthode est coûteuse par suite de l'emploi forcé du charbon de bois comme combustible ; les houilles et le coke renfermant toujours du soufre en proportion assez forte pour influencer sur la qualité du fer ou de l'acier avec lequel ils seraient en contact. En outre, le combustible minéral, à cause de la nature argileuse de ses cendres et de leur abondance, rend peu fusibles et pâteuses les scories que le cinglage de fin d'opération serait impuissant à expulser du magma spongieux.

3° Ce procédé ne permet de traiter à la fois qu'une quantité relativement faible de métal, de 30 à 150 kilogrammes suivant les variantes de travail.

Quoiqu'il soit plus aisé d'obtenir au bas-foyer des fers légèrement aciéreux, il n'en est pas moins vrai qu'on peut y fabriquer aussi des

fers d'une très grande ductilité ; les scories y sont très fluides, la température très élevée ; l'essentiel pour l'ouvrier sera d'empêcher le combustible de défaire ce qu'a réalisé l'atmosphère oxydante.

Si la méthode est coûteuse, elle possède cependant l'avantage d'assurer la disparition des impuretés à cause de la grande perte en fer qui l'accompagne en pratique.

Le fer ainsi obtenu, dit *fer au bois*, jouit, quand il vient de Suède notamment, d'une réputation de pureté amplement justifiée.

Si, d'autre part, on traite au bas-foyer des *fontes au bois*, c'est-à-dire des fontes obtenues au haut-fourneau dans lequel le combustible, au lieu d'être du coke, est constitué par du charbon de bois, on conçoit qu'on pourra obtenir des fers et des aciers d'une pureté encore plus grande mais d'un prix élevé en conséquence.

Dans un grand nombre des variantes de travail au bas-foyer, on pratiquait souvent l'affinage en deux temps en se servant de deux foyers distincts.

On effectuait, dans l'un d'eux, le *finage* ou *mazéage* ; cette opération était toujours une *fusion oxydante* peu prolongée, de façon à transformer certaines qualités de fontes grises,

riches en silicium, en fontes blanches ou truitées se transformant plus aisément en fer. On brûlait simplement la plus grande partie du silicium, élément le plus oxydable, un peu de manganèse et de phosphore, éléments marchant après le silicium dans l'ordre d'oxydabilité.

Dans un autre foyer, on finissait l'*affinage*.

Aujourd'hui, le *mazéage* ou *finage* a presque complètement disparu, car, vu le prix de revient, on ne traite plus dans les bas-foyers existants que des fontes assez pures destinées à donner des produits de choix.

La théorie de l'opération au bas-foyer ne diffère pas essentiellement de celle qui va être exposée pour le puddlage ; aussi, nous dispenserons-nous d'en donner même une légère esquisse.

---

## CHAPITRE PREMIER

—

### RÉACTIONS DU PUDDLAGE

Quand le four à puddler est chaud, on y introduit 200 à 250 kilogrammes de fonte sous forme de blocs ou *gueusets* pesant chacun de 25 à 30 kilogrammes. On charge, en même temps, des battitures et des scories riches, en quantité d'autant plus grande que la fonte traitée est plus carburée et plus impure.

Le chargement effectué, on ferme la porte de travail et l'on cherche à amener le plus rapidement possible les matières à la fusion.

Après la fusion, on se trouve en présence d'une nappe fluide de fonte d'une certaine épaisseur comprise entre la sole oxydée solide ramollie par la chaleur et la couche de quelques centimètres, au plus 2 ou 3, de scories en fusion placée au-dessus.

Le puddleur introduit un ringard par une petite ouverture pratiquée dans la porte de travail et procède au brassage de cette masse liquide.

Examinons les phases chimiques de l'opération.

### I. ROLE CHIMIQUE DE LA SOLE

La sole adoptée d'abord par Cort était en sable argileux battu : ce fut là la cause principale des premiers insuccès de cette fabrication.

Avec une sole en sable portée à la température du travail, la silice s'emparait de l'oxyde de fer au fur et à mesure de son addition sous forme de battitures en cours d'opération ou de sa formation due à l'affinage de la fonte par l'atmosphère oxydante du four.

L'oxyde de fer ainsi transformé en silicate neutre ou acide (*proto* ou *bisilicate*) n'avait plus alors aucune action sur les divers éléments de la fonte.

Le carbone et le soufre pouvaient encore, à la rigueur, être éliminés sous forme gazeuse en acide carbonique ou oxyde de carbone et acide sulfureux, mais le silicium, le manganèse et le phosphore ne pouvaient l'être car ces éléments, pour être oxydés d'une façon permanente, ré-



clament la présence d'une base forte non encore oxydée par la silice.

' Pour obvier à cet inconvénient, Cort dut soumettre les fontes à puddler à une opération préliminaire de *mazéage* destinée à brûler la plus grande partie du silicium, du manganèse et du phosphore par les scories basiques du bas-foyer.

L'acide phosphorique formé passait assez facilement aux scories, grâce à leur grande basicité et à l'absence de silice dans les parois, puisqu'elles sont uniquement constituées, dans les bas-foyers, par des plaques de fonte.

Avec des fontes non mazées, traitées au puddlage, la silice de la paroi et de la sole, on le sait aujourd'hui, réagissait sur l'acide phosphorique formé en le déplaçant des combinaisons qu'il avait formées avec les oxydes métalliques du bain, puis, lorsque le carbone brûlait à son tour, l'acide phosphorique était réduit et le phosphore se réincorporait au bain.

A l'époque, on n'en était pas encore arrivé à saisir le mécanisme de cette réaction, mais le fait lui-même n'avait pas échappé à la sagacité des Ingénieurs.

En 1818, Samuel Baldwin Rogers propose de substituer, à la sole en sable de Cort, une sole

en fonte recouverte de scories figées à sa surface à l'aide d'un refroidissement par l'air circulant sous la sole.

Ce n'est que vingt ans plus tard que la substitution proposée par Rogers s'est répandue dans les usines à fer. Les résultats obtenus donnent une sanction définitive à cette modification importante et désormais, au lieu du *mazéage* préliminaire et du *puddlage* consécutif, le fer s'obtiendra en une seule opération au four à puddler.

Les briques des parois du laboratoire agissant comme le sable de la sole sur la fonte à affiner, on fut conduit à remplacer les briques inférieures des parois latérales du four par des plaques de fonte protégées à l'aide d'un cordon ferrugineux ou calcaire et refroidies par un courant d'air ou d'eau.

*Le four à puddler vraiment industriel était créé.*

## II. RÉACTIONS EN COURS D'OPÉRATION

Examinons maintenant ce qui se passe, au point de vue chimique, dans les différentes phases du puddlage.

Dans l'étude du mécanisme de l'affinage par oxydation précédemment faite, on a vu que ce sont les oxydes supérieurs du fer qui, passant à l'état d'oxydes inférieurs, parviennent à réaliser l'affinage par cession de leur oxygène. Sans qu'on ait bien pu déterminer la part à attribuer dans l'action oxydante à l'un ou à l'autre des oxydes  $\text{Fe}^3\text{O}^4$  et  $\text{Fe}^2\text{O}^3$ , l'expérience semble prouver qu'elle est surtout prépondérante pour  $\text{Fe}^3\text{O}^4$ .

Cela posé, nous distinguerons deux périodes dans l'accomplissement des phénomènes chimiques.

**1. Période de scorification.** — C'est la phase tranquille, le métal fondu paraissant n'être le siège d'aucun phénomène se manifestant extérieurement.

En réalité, le *silicium*, le *manganèse*, puis le *phosphore* de la fonte en traitement passent à la scorie sous forme de silice, d'oxyde de manganèse et d'acide phosphorique. Il se forme des silicates d'abord *acides*, puis *neutres* et *basiques*, silicates de fer et de manganèse; les phosphates de fer et de manganèse se forment ensuite.

La scorie devenant plus fluide, l'ouvrier tout en brassant pourra en faire écouler une partie

par l'orifice de la porte de travail, surtout quand la fonte à affiner sera phosphoreuse. Il éliminera ainsi une certaine proportion des phosphates formés et les soustraira à l'action réductrice de l'oxyde de carbone qui se produira lors de la décarburation, action réincorporant le phosphore dans le métal final.

**2. Période de décarburation.** — C'est la phase agitée, le bain foisonne, monte et tend à bouillonner; les bulles de gaz soulèvent la masse, des jets de flamme sortent du bain.

Le *carbone* brûle passant à l'état d'oxyde de carbone et d'acide carbonique.

A mesure que le carbone disparaît, le métal en traitement, qui a perdu la plus grande partie des éléments qui caractérisaient, par leur association au fer, la fonte primitive, se rapproche de plus en plus du fer dont le point de fusion est plus élevé.

Il faut donc élever la température pour que le métal restant en fusion aussi longtemps que possible ne cesse, en étant constamment brassé par le ringard de l'ouvrier, de subir l'action affinante.

Mais un moment arrive cependant où le fer, plus ou moins décarburé, se fige en grumeaux pâteux qui, bientôt, peuvent se souder les uns aux autres.

Le brassage qui peut avoir duré, selon les qualités des fontes, de trente à quarante minutes, cesse alors d'être possible.

*Le fer forme, à ce moment, un amas spongieux s'élevant de la sole sous l'aspect caractéristique de choux-fleurs, d'un blanc étincelant, contrastant avec la masse rouge et la viscosité de la scorie qui retombe immobile sur la sole du four.*

Dès que le fer s'est ainsi solidifié, il faut se hâter de faire les *loupes* ou *balles*. L'ouvrier divise la masse ferreuse incandescente, à l'aide de son ringard ou crochet, en cinq ou six parties constituant chacune une loupe de 30 à 40 kilogrammes. Chaque loupe est grossièrement façonnée dans le four, même de façon à lui donner le maximum de cohésion, puis, elle en est extraite et portée aux engins de transformation qui la mettront sous la forme de *fer brut*, ainsi qu'il sera dit plus loin.

**3. Caractéristiques du travail pour fer ou pour acier.** — Le fer industriel, on l'a dit, n'est jamais pur ; il contient un reliquat plus ou moins important d'éléments étrangers et notamment de carbone ; il sera *plus ou moins doux* ou *dur* ; à une certaine limite de dureté, on aura même un *acier*.

Il importe de voir comment devront se modifier les réactions principales signalées plus haut, suivant le métal à obtenir.

Le puddlage pour *fer dur* ou pour *acier* ne pourra réussir que si trois conditions sont satisfaites, à savoir :

*Fluidité de la scorie.*

*Haute température.*

*Qualité requise pour la fonte à affiner.*

Le puddlage pour *fer dur* ne différera du puddlage pour *acier* que par la durée de la décarburation ; nous donnerons ci-dessous, sur ce sujet, quelques indications complémentaires.

a) *Fluidité de la scorie.* — Plus la scorie sera fluide, plus elle se séparera par liquation de la fonte soumise à l'affinage, formant au-dessus d'elle une nappe protectrice contre l'atmosphère oxydante. Il sera plus difficile, par suite, d'assurer par le brassage, le contact intime entre la fonte et la scorie.

~ Pour toutes ces causes, l'affinage sera retardé, peut-être même limité ; en tous cas, il sera plus lent et plus progressif, la décarburation étant conduite presque au gré du puddleur.

Par le fait même que les scories s'isolent mieux de la masse métallique, il en résultera

que le produit de l'affinage pourra être plus carburé et qu'on aura un fer plus dur ou un acier.

b) *Haute température.* — Le brassage ne devra pas commencer dès la fusion de la fonte, il y a intérêt à laisser reposer ou *cuire* le bain avant le brassage.

Pendant cette cuite qui dure environ 20 minutes et qui est indispensable à pratiquer dans le cas du puddlage pour acier, on laisse ouvert le clapet de la cheminée et on se contente de remuer, de temps en temps et très lentement, la masse fluide avec le ringard.

En opérant ainsi, on élève beaucoup la température sans que l'affinage soit trop hâtif; le silicium et le manganèse s'éliminent seuls, passant à la scorie à laquelle ils donnent une grande fluidité que favorise l'élévation de la température.

Le carbone est protégé contre l'oxydation, soit parce que le brassage proprement dit n'a pas encore commencé, soit parce qu'il y a du manganèse.

On ne brassera la masse que quand le bouillonnement de la fonte commencera à se manifester; *alors le bain ressemble à du riz cuit dans du lait.* La finesse des grains métal-

liques apparaissant en fin de brassage est caractéristique de l'acier ; si les grains sont assez gros, ce sera du fer plus ou moins dur, moins fusible, et non de l'acier.

c) *Fontes de nature appropriée.* — Les fontes rendant principalement les scories fluides et permettant d'enrichir le fer en carbone tout en facilitant la soudure des éléments de ce fer carburé (*fer dur* ou *acier*) sont les *fontes manganésées*.

Le manganèse retarde la décarburation, car il ramène sans cesse le fer oxydé supérieur à l'état de protoxyde. Or, le carbone est surtout éliminé par le fer oxydé supérieur ; tant qu'il y aura du manganèse dans la fonte, son affinité pour l'oxygène empêchera cet oxyde de se former et le carbone restera dans le métal.

Puis, grâce à l'absence des oxydes supérieurs du fer et à leur remplacement par les oxydes  $\text{FeO}$  et  $\text{MnO}$ , les silicates à bases multiples ainsi engendrés seront plus fluides, surnageant au-dessus de la fonte, et permettront alors au puddleur de se rendre maître de la décarburation.

Les fontes phosphoreuses rendront aussi les scories plus fluides ; mais, nous ne les citons que pour mémoire, leur emploi ne devant être réservé que pour les fers communs.



*Le fer doux* sera le fer le plus affiné.

Les scories deviendront plus pâteuses si, au début de l'opération, on travaille tout de suite à registre ouvert sans veiller au retard de la décarburation. Les éléments étrangers de la fonte auront bien été brûlés, il est vrai, dans leur ordre d'oxydation, mais une grande quantité de fer se sera également brûlée *suroxydant la scorie* et l'épaississant, la transformant en un meilleur véhicule de l'oxygène, et cela d'autant plus que, rendue moins fusible, elle s'incorporera mieux à la masse.

Les expériences de MM. Lan et List servent d'appui aux assertions ci-dessus ; elles ont montré qu'à mesure que l'affinage avance, les scories se suroxydent et deviennent pâteuses.

### III. MODE OPÉRATOIRE

Les différents modes de puddlage se distinguent à des points de vue bien caractéristiques que nous allons examiner.

**1. Puddlage sec ou maigre et puddlage bouillant ou boiling-process.** — On peut, d'après la nature des fontes traitées et celle des produits, distinguer deux sortes de puddlage :

ce sont le puddlage ordinaire, *sec* ou *maigre* et le puddlage *bouillant* ou *boiling-process*.

Le puddlage *sec* ou *maigre* est le procédé primitif dans lequel on *affine la fonte sans la réduire à l'état liquide*, mais en la chauffant de façon à la diviser en grumeaux pâteux qu'on brasse à l'aide d'un ringard en l'exposant à

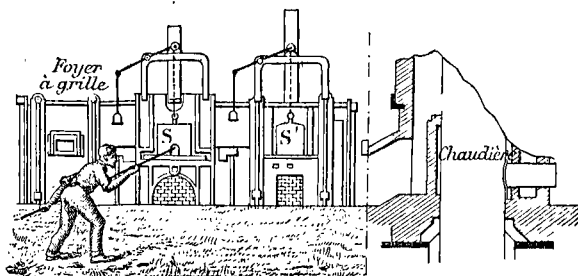


Fig. 1. — S, porte de travail correspondant à la sole du four à puddler ; S', porte de travail correspondant à la sole de réchauffage des gueusets.

l'action de la flamme jusqu'à ce que le fer ait pris nature (*fig. 1*). Dans ce procédé, les éléments étrangers, en particulier, le silicium et le phosphore s'éliminent mal ; c'est pourquoi, il ne convient qu'à la fabrication des fers communs. On emploie, à cet effet, en France et en Belgique, des fontes blanches dites *d'affinage générale*-

ment sulfureuses, à faible teneur en carbone et en manganèse.

En même temps que la fonte, on charge, pour hâter l'opération dès le début, des battitures ou des scories ; après quinze ou vingt minutes de chauffage modéré, la fonte se désagrège à la façon d'un sable pâteux, le fer s'étant en partie oxydé sans s'être encore scorifié ; on commence alors à labourer la charge au ringard : c'est le *brassage* qui dure environ vingt minutes et qui favorise la réaction de l'oxyde de fer sur la fonte ; la scorie se forme donc et se liquéfie tandis que le fer prend nature ; vers la fin du brassage, on pousse le feu pour donner de la fluidité à la scorie ; alors commence une nouvelle opération qui consiste à soulever au ringard la masse pâteuse et à l'exposer à l'action directe des flammes ; après le *soulèvement* qui dure environ dix minutes, l'affinage touche à son terme.

Il ne reste plus qu'à confectionner les *loupes*.

Dans le puddlage bouillant, *la fonte est amenée à l'état liquide* et affinée par brassage très énergique avec des matières décarburantes : scories ou crasses riches en oxydes de fer. Ce procédé est moins rapide et plus coûteux que le précédent, mais il permet de traiter directement

les fontes grises, les fontes manganésées et les fontes blanches très carburées sans avoir besoin de leur faire subir, le cas échéant, l'opération du mazéage.

C'est au puddlage bouillant, le plus généralement répandu aujourd'hui, que s'applique la théorie exposée plus haut. Ce procédé se prête, en outre, à une grande élasticité de fabrication et permet, en satisfaisant aux conditions dont nous avons antérieurement donné le détail, d'obtenir toutes les variétés entre le fer dur et l'acier.

La fabrication vraiment industrielle de l'acier puddlé date de 1850 ; elle est aujourd'hui à son déclin. Quant à celle des fers puddlés qu'on croyait condamnée à brève échéance, lors de l'apparition des procédés modernes de fabrication d'acier liquide en grande masse, il faut bien reconnaître qu'elle n'est pas encore près de disparaître.

Le vieux puddlage *n'est pas mort*, ainsi que le proclament les sidérurgistes dans leurs récents Congrès ; les fers qu'il produit ont trouvé des débouchés nombreux, dans la cémentation, comme matière d'addition au four Martin, comme charges dans les creusets concurremment avec la fonte, etc.

Et comme on a pu, au cubilot Rollet notamment, élaborer des fontes de deuxième fusion d'une extrême pureté, sans soufre ni phosphore, rivalisant avec les meilleures fontes au bois, le puddlage, appliqué à ces fontes, a fourni des fers comparables de tous points comme qualité à ceux des anciens foyers d'affinerie.

Ainsi, le four à puddler n'est plus un appareil producteur principal de métaux ferreux, *mais il doit être considéré actuellement, en dehors de certaines fabrications communes, comme un auxiliaire précieux des procédés nouveaux.*

**2. Quelques mots sur le puddlage mécanique.** — Les dispositifs imaginés pour éviter le brassage à la main, si pénible pour l'ouvrier, sont nombreux. Leur adaptation aux fours à puddler, plus ou moins modifiés à cet effet, constitue le *puddlage mécanique*. Nous ne donnerons sur ce sujet que quelques rapides indications.

*Dans le procédé Lemut (1862),* pratiqué dans de nombreuses usines, le ringard, au lieu d'être mù par l'ouvrier, reçoit par une transmission mécanique très simple les mouvements latéraux et d'avant en arrière nécessaires au brassage. Mais, en fin d'opération, le puddleur

est néanmoins obligé de procéder à la confection des loupes.

Dans le procédé *Espinasse*, essayé à Firminy et aujourd'hui abandonné, la sole du four à puddler était circulaire ; la voûte du four livrait passage à un arbre vertical en fer muni à son extrémité inférieure de deux palettes horizontales légèrement déversées en forme de bras d'hélice et plongeant dans le bain de fonte. L'arbre vertical était animé d'un mouvement de rotation autour de son axe.

Enfin, dérivant du *four américain Danks* (1871), il faut citer le *four Bouvard*, actuellement en service au Creusot, à sole cylindrique mobile autour d'un axe horizontal et assurant non seulement le brassage mécanique par sa rotation, mais encore la confection des loupes à l'aide d'une sorte de couteau approprié ménagé dans la sole.

Le *four Pernot* (1873) est à sole circulaire inclinée, l'arbre central portant la sole faisant un angle de 6 à 7° avec la verticale. Si le puddleur veut activer l'affinage, il appuie simplement le bout de son ringard sur la sole en mouvement, accroissant ainsi l'énergie du brassage sans avoir à déployer beaucoup de force. En tous cas, pour la confection des loupes, la

sole doit être arrêtée pour que le puddleur termine l'opération.

Il semble que le mouvement de la sole, soit au Bouvard, soit au Pernot, favorise l'élimination des substances étrangères contenues dans la fonte et notamment celle du phosphore. Mais, en dehors de cet avantage et de la possibilité de traiter de très fortes charges dans ce genre de fours, il faut signaler que leur emploi coûte fort cher non seulement à cause de l'entretien des mécanismes, mais encore à cause de la détérioration rapide des soles.

---

## CHAPITRE II

—

### COMMENT ON OBTIENT LE MÉTAL PUDDLÉ BRUT

La loupe (fig. 2) sortant du four à puddler se présente sous la forme d'une masse spongieuse irrégulière fortement imprégnée de scories.

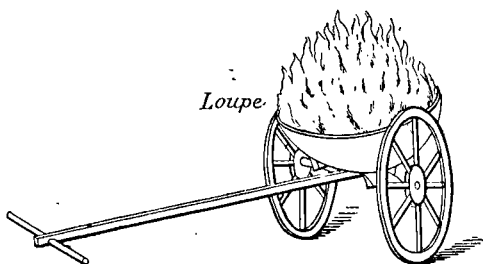


Fig. 2

L'ouvrier l'extrait du four avec des tenailles en ouvrant la porte de travail et la dépose sur une sorte de brouette métallique, à l'aide de laquelle on la transporte aux appareils de transformation.



Les loupes de fer doux sont d'un blanc incandescent, sillonnées, dès qu'on les a exposées à l'air, de veines noirâtres de scories figées et entourées de flammes blanchâtres.

Les loupes aciéreuses ou de fer dur possèdent quelques-uns des caractères précédents, mais une grande partie des jets de flamme est teintée de bleu à cause de la combustion de l'oxyde de carbone, la décarburation étant incomplète.

## I. ÉBAUCHÉ DE PUDDLAGE

On désigne sous le nom de *cinglage*, l'opération qui, tout en expulsant la scorie, donne à la loupe une forme à peu près géométrique, facilitant son emploi dans les opérations ultérieures de transformation.

Le cinglage était autrefois opéré par *pression* (presses et cingleurs rotateurs); il est presque toujours actuellement effectué par *percussion* à l'aide de petits marteaux-pilons donnant quatre-vingt à cent coups par minute et dont la masse frappante pèse 1500 à 200 kilogrammes.

Les premiers coups de marteau doivent être donnés avec ménagement, l'action de cet engin n'ayant pas d'autre but que de rapprocher les

particules ferreuses afin de donner à la loupe, sans la disloquer, une compacité plus grande.

Progressivement, l'action du marteau devient plus énergique : en même temps que le soudage s'accomplit, la scorie est exprimée de la loupe en ruisselant sur l'enclume dès les premiers instants, puis sous forme de particules

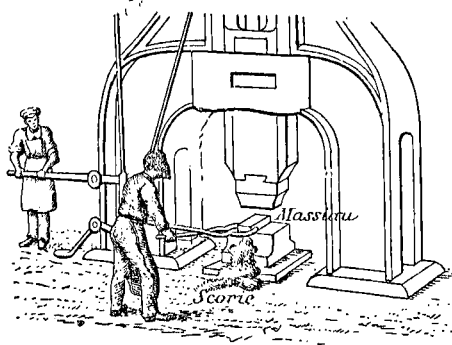


Fig. 3

scoriacées projetées à une certaine distance, au fur et à mesure que le refroidissement de la masse ferreuse s'accroît.

Quand le métal a pris de la cohésion, on l'a transformé ainsi en *massiau* (fig. 3), sorte de bloc parallélépipédique de 30 à 40 centimètres de long avec une section de 10 à 15 centimètres sur 8 à 10 centimètres.

Quand le massiau est tout à fait formé et que sa compacité est telle que l'expulsion de la scorie n'est plus possible, on le transporte encore très chaud au laminoir de puddlage. Après un certain nombre de passes, le massiau est transformé en une barre plate de longueur variable suivant l'importance du massiau et qu'on nomme *ébauché de puddlage* ou *fer brut*.

L'ébauché a 3 ou 4 mètres de longueur et une section de 8 à 12 centimètres sur 2 à 3 centimètres.

Un pilon cingleur dessert huit à douze ou même quatorze fours, suivant la rapidité du puddlage. A chaque pilon est affecté un laminoir qui fournit les ébauchés comme il vient d'être dit.

## II. CLASSEMENT DES ÉBAUCHÉS

La surface de l'ébauché n'est pas unie, elle est souvent sillonnée de petites fentes ou replis scoriacés, les arêtes ne sont pas continues, car en certains points le fer a manqué et la scorie s'est détachée. Ces caractères ne sont donnés que pour aider à reconnaître les ébauchés et à les distinguer des autres barres de *fer épuré* à surface lisse et à arêtes régulières.

Avant de passer à la forge, le fer brut doit subir un classement très minutieux, car le four à puddler ne peut, quelque soin qu'on apporte à la fabrication, donner des produits absolument homogènes. Chaque barre est cassée, la cassure

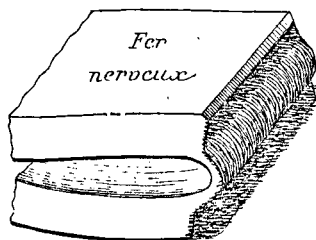


Fig. 4

étant obtenue par le choc d'un marteau à main sur le bout de la barre placée en porte-à-faux, après incision préalable à la tranche à froid sur une de ses larges faces.

La cassure sera *grenue* ou *nerveuse* (fig. 4) : grenue, elle rap-

pelle celle d'un grès un peu grossier ; nerveuse, elle ressemble assez à celle des matières ligneuses à fibres plus ou moins parallèles.

Dans ce dernier cas, la barre peut ne pas se rompre brusquement, elle fournira en se pliant presque à bloc une déchirure et non une cassure nette à peu près plane.

Quelquefois enfin, la cassure est à grain mélangé de nerf.

Sans entrer dans le détail des théories imaginées pour expliquer l'origine du grain et du nerf dans la cassure de l'ébauche de puddlage, il importe de retenir que la *cassure à grains* est l'indice d'un fer relativement dur, la *cassure nerveuse* celui d'un fer plus doux.

Il reste toutefois entendu que nous supposons n'avoir affaire qu'au métal brut de l'ébauché, car il est acquis qu'un fer nerveux peut devenir à grains et, réciproquement, suivant le genre de travail mécanique ou calorifique auquel il aura été soumis.

Cela posé, d'après l'aspect plus ou moins nerveux ou le grain plus ou moins fin de la cassure, on répartit les ébauchés de puddlage en des catégories diverses; parfois même on fait sur chaque barre une prise d'essai suivie d'un dosage de phosphore.

### III. DIGRESSION SUR LE CORROYAGE

En principe, l'étude des transformations successives de l'ébauché ressortit à celle du *travail des métaux*; mais, en pratique, on peut

considérer que ces opérations sont si intimement reliées à celles du puddlage proprement dit, en formant comme la suite naturelle, qu'il est nécessaire d'en exposer ici, et très brièvement, la marche générale.

Quand on veut obtenir une pièce en fer ou en acier de qualité donnée, on prend un poids convenable de barres de fer brut de cette qua-

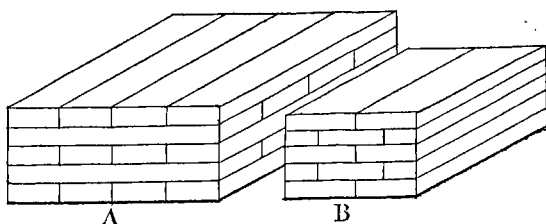


Fig. 5. — A, mise en long et en travers ; B, mise en long avec plein sur joint.

lité : on coupe ces barres à la cisaille en tronçons plus ou moins longs et l'on confectionne un paquet de ces tronçons en les disposant par lits, jointifs et en travers ou encore plein sur joint (*fig. 5*).

Le paquet ainsi formé est lié avec des fils de fer et porté dans un four à réchauffer où on l'amène au blanc soudant ( $1490^{\circ}$  environ), si c'est du fer.

Dans le cas de l'acier puddlé, il ne faut pas dépasser le rouge cerise clair et ne pas laisser longtemps le métal à cette température dans le foyer sous peine de le brûler : le feu doit être conduit de manière que la flamme ne soit pas oxydante.

Au lieu de prendre des fers bruts pour en confectionner des paquets qu'un forgeage approprié, destiné d'abord à souder les mises entre elles, transformera ensuite dans les chaudes successives en un objet de formes déterminées, on peut, pour des produits de meilleure qualité, constituer les paquets avec des barres de fer ou d'acier provenant d'un *premier corroyage*.

On réunit, à cet effet, les ébauchés en paquets de formes simples, on les réchauffe, on les pilonne et on les passe au laminoir pour obtenir de nouvelles barres. Le corroyage élimine ainsi les scories et donne au métal une plus grande pureté et une plus grande homogénéité.

Ce qu'on a fait avec une ou plusieurs barres ébauchées de fer ou d'acier puddlés, on peut le faire une deuxième fois avec les barres obtenues après un premier corroyage, on obtiendra du fer ou de l'acier corroyés deux fois et ainsi de suite.

On ne va généralement pas au delà de trois corroyages ; car la main-d'œuvre et le combustible coûtent cher, il y a déchet de métal à chaque opération et danger de soumettre certaines qualités de fer ou d'acier à des chauffages très répétés.

Souvent le corroyage poussé trop loin serait inutile.

Tous les objets en fer ou en acier puddlés proviennent, en effet, de paquets ; ces paquets pourront être constitués le plus souvent avec des fers ou des aciers plus ou moins corroyés sans qu'on s'astreigne à composer les mises avec des barres au maximum de corroyage. Il ne faut pas oublier que l'objet que devra fournir le paquet ne sera obtenu qu'après un travail énergique de celui-ci, soit au pilon, soit au laminoir, et qu'un pareil *façonnage* constituera souvent le meilleur des corroyages.

Les paquets ont des formes et des sections très variables dépendant de l'objet à obtenir. Pour certaines pièces, lorsqu'on ne cherche à produire que des fers de qualité médiocre, on assemble en paquet des déchets quelconques de fabrication, chutes de barres, tournures, etc., le tout garanti par une enveloppe de mises de fer brut (*fig. 6*). Ce procédé n'est applicable, en tous cas,



que lorsque le profil de la pièce finie est peu tourmenté et sert surtout à donner des fers communs, plats, carrés, ronds, etc.

Les paquets pour *profilés divers* peuvent présenter une section rectangulaire ou carrée si le laminage ne doit pas exercer une trop grande déformation pour donner la section finale du profilé, sinon la section du paquet initial doit s'approcher d'assez près de celle à obtenir en fin de travail.

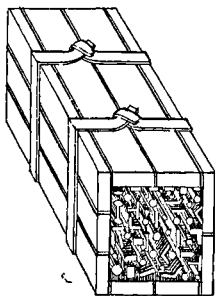


Fig. 6

Tous ces détails d'organisation des paquets ont perdu beaucoup de leur intérêt depuis la substitution progressive des diverses nuances d'aciers aux fers et aux aciers puddlés qui servaient exclusivement autrefois à constituer le métal des profilés employés dans les constructions.

Les paquets pour tôles sont généralement formés de deux couvertes en fer corroyé (pour chacune des faces), de mises intermédiaires de fer brut en long et de mises intermédiaires de fer brut en travers (*fig. 7*).

Le poids d'un paquet se calcule ordinairement de la manière suivante :

Au poids de la pièce à obtenir, on ajoute, quand on doit la passer au laminoir, une quantité supplémentaire de métal telle qu'elle corresponde à une chute de 50 à 60 centimètres

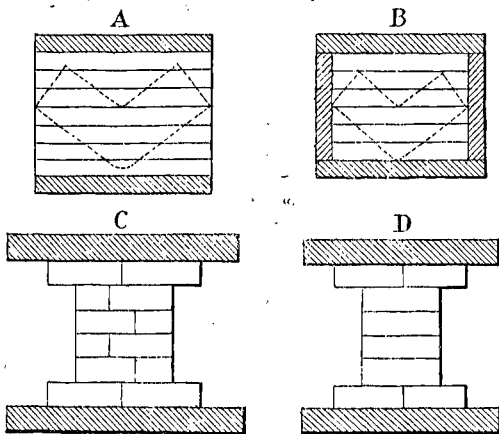


Fig. 7. — A, B, paquets pour cornières; C, D, paquets pour doubles T.

aux extrémités de la barre toujours mal soudées. Les barres sortant du laminoir au rouge sont presque toujours affranchies au moyend'une scie circulaire à chaud placée dans le voisinage des laminoirs.

Si l'objet à fabriquer doit être pilonné, il faudra apprécier l'importance des chutes à faire à la tranche à chaud ou à froid entre les différentes chaudes pour s'approcher de la forme définitive de cet objet brut de forge.

Dans tous les cas, il faut tenir compte du *déchet de feu* (oxyde des battitures) d'autant plus fort que le métal est moins fin et que la pièce en fabrication exige plus de chaudes ; ce déchet varie de 5 à 10 %.

#### IV. CONCLUSION SUR LE PÙDDLAGE

Le puddlage est une opération coûteuse.

Chaque four emploie une équipe de deux hommes, doublée, dans le cas du puddlage sec, d'un chauffeur par four, si on fait douze opérations par poste, sinon d'un pour deux fours ; chaque pilon occupe deux hommes ; le train ébaucheur occupe un chef, un aide, deux releveurs de bancs et deux ou trois traîneurs.

La consommation de main-d'œuvre <sup>(1)</sup> peut,

---

(1) DE BILLY, Ingénieur au corps des Mines. — *État actuel de l'Industrie du fer et de l'acier*. Revue générale des Sciences pures et appliquées, 1898.

en moyenne, s'évaluer par tonne de fer brut, au four à puddler :

à 1,2 journée dans le cas de puddlage sec		
1,5 à 1,7 journée	//	chaud
2,5 journée	//	pour acier

et, pour l'opération complète, puddlage, cinglage et laminage compris :

à 2,25 journées dans le cas de puddlage sec		
2.5 à 3 journées	//	chaud

Quant à la dépense en combustible, elle est à peu près constante par four, et s'élève à environ 1500 kilogrammes par période de travail de douze heures ; rapportée à la tonne de fer brut produit, la consommation de houille est donc inversement proportionnelle à la production qui varie, suivant les cas, de 800 kilogrammes à 2500 kilogrammes, ou même 3000 kilogrammes dans la période de travail spécifiée plus haut.

On a cherché par divers moyens à réduire les frais du puddlage. La fusion préalable de la fonte a donné, dans le cas du puddlage chaud, des résultats appréciables qui se chiffrent par un accroissement de 50 % dans la capacité de production.

Le tableau suivant résume, à ce sujet, quelques données caractéristiques :

Nature du puddlage	Nombre de charges par 12 heures	Poids de chaque charge de fonte	Consommation de houille par tonne de fer brut	Déchet sur la fonte chargée
Sec . . . . .	12	kilog. 250	kilog. 600 à 700	p. % 5,5 à 7,5
Demi-chaud (fontes blanches manganésées)	10	220	700 à 800	7,5
Chaud . . . . .	7 à 6	200	1 000 à 1 500	9 à 15
Pour acier. . . . .	4	200	1 800 à 1 850	18 à 20

On a cherché aussi à réduire, par la gazéification, la consommation de combustible ; mais le chauffage au gaz n'est vraiment économique que lorsqu'il s'agit d'atteindre des températures très élevées pour un puddlage très soigné ; il est alors plus facile de donner à la fin de l'opération un coup de feu énergique, de rendre la scorie très fluide et les loupes molles ; d'autre part, l'opération est plus maniable et, par conséquent, l'affinage meilleur.

M. Bonehill a tenté, en Belgique, un nouveau dispositif de puddlage dont nous dirons quelques mots.

Un grand mélangeur, alimenté par un haut-fourneau spécial et qui conserve la fonte en fusion, dessert quatre fours à gaz groupés autour de lui. Le puddlage, à haute température, de la fonte chargée liquide s'effectue très rapidement; l'inventeur prétend réaliser des économies de combustible et de main-d'œuvre et diminuer les déchets.

Reste à savoir si la fabrication du fer dépendant ainsi de la marche du haut-fourneau pourra se maintenir régulière.

Dans le four Bouvard, la fonte s'y charge aussi liquide, mais elle provient d'un four à reverbère voisin où l'on refond des fontes préalablement classées, ce qui met à l'abri d'une composition irrégulière résultant d'un dérangement d'allure dans la marche du haut-fourneau.

---

## TITRE II

---

### MÉTAL ÉLABORÉ À L'ÉTAT LIQUIDE (BESSEMER ET MARTIN-SIEMENS)

Nous arrivons maintenant à l'étude des procédés modernes d'élaboration des métaux ferreux donnant les fers et les aciers à l'état *liquide* et en *grande masse*.

Coulés dans des moules métalliques spéciaux appelés *lingotières*, le plus généralement, ou dans des moules en sable analogues à ceux employés dans la fonderie de fonte, plus exceptionnellement, ces métaux fournissent : ou bien, des *lingots* de tonnages les plus variés à soumettre ensuite à un travail de déformation à chaud au *pilon*, à la *presse* ou au *laminoir*, ou bien des *moulages* d'acier donnant d'un coup, comme il arrive pour la fonte, à quelques travaux accessoires près, calorifiques ou d'usinage, l'objet en fabrication sous sa forme définitive.

Ces procédés sont les suivants :

- 1° Le procédé Bessemer.
- 2° Le procédé Martin-Siemens.

## CHAPITRE PREMIER

---

### PROCÉDÉ BESSEMER

L'étude de l'élaboration des aciers par le procédé *Bessemer* doit nécessairement se diviser en deux parties, suivant qu'on ne traite pas ou qu'on traite le problème de la déphosphoration de la fonte soumise à l'affinage.

Si l'on se reporte aux considérations déjà présentées dans le premier volume de ce travail et relatives aux revêtements des appareils dans les foyers métallurgiques, on comprendra aisément la nécessité de la division de l'étude de ce procédé en *Bessemer acide* et en *Bessemer basique*.

#### BESSEMER ACIDE

C'est le procédé même d'élaboration imaginé et mis en œuvre par Bessemer, le traitement basique n'ayant été réalisé que bien après et



n'étant, en somme, qu'une extension du précédent.

Les premières expériences de Bessemer eurent lieu à Baxterhouse (faubourg de Londres), en 1856, et furent effectuées dans un creuset d'une contenance de 18<sup>kg</sup>, chauffé dans un four à creusets ordinaire pourvu d'un trou de coulée pour l'évacuation du métal fondu et d'un tube central en argile par lequel le vent destiné à réaliser l'affinage par oxydation était introduit.

Ce n'est qu'en 1858, après bien d'autres essais que nous ne pouvons passer en revue, qu'on arrive à la cornue rotative perfectionnée dont il a été question dans le volume relatif aux *Foyers métallurgiques* et dans laquelle l'affinage est exclusivement accompli par la combustion intermoléculaire des éléments étrangers contenus dans la fonte traitée.

Cependant, bien des difficultés pratiques restaient à surmonter au point de vue de l'élaboration du métal lui-même ; Bessemer ne pouvait, ni oxyder le soufre et le phosphore contenus dans les fontes anglaises assez impures qu'il employait, ni enlever du produit final l'oxyde de fer qui se formait pendant l'opération ; pour toutes ces causes, il y avait presque impossibilité de travailler le métal à chaud.

Or, pendant ce temps, un maître de forges suédois, M. Granson, eut l'idée d'appliquer à des fontes au bois suédoises le traitement peu satisfaisant jusque-là du convertisseur ; le métal obtenu put bien supporter, *sans criques* ou *ruptures prématurées*, le travail à chaud sous l'action des divers engins de forgeage.

D'autre part, Robert Mushet avait l'idée d'ajouter à la fonte que Bessemer soumettait à l'affinage dans son convertisseur, une certaine quantité de *spiegeleisen* d'Allemagne (*fonte notablement manganésée*).

L'effet fut merveilleux, le métal se martelait ou se laminait aisément sans qu'il se produisit de gerçures.

Qu'on marchât sans *spiegeleisen*, comme en Suède, parce que les fontes de ce pays étaient naturellement suffisamment riches en manganèse, ou qu'on marchât, comme en Angleterre, avec addition de *spiegeleisen* aux fontes impures qu'on y traitait, le succès du *procédé Bessemer* fut assuré.

Quant à l'explication du rôle joué par le manganèse, on s'en préoccupa fort peu à l'époque ; elle va trouver sa place dans l'étude théorique du procédé.

## I. THÉORIE DE L'OPÉRATION

Avant d'introduire la fonte à affiner dans le convertisseur, on chauffe cet appareil au blanc en y brûlant du coke sous l'action d'un vent léger. Quand il est chaud, on verse, en le retournant le bec en bas, le coke qu'il contient et on le place dans une position telle que son grand axe soit horizontal pour qu'on puisse y introduire la charge. Celle-ci, venant directement du haut-fourneau ou d'un cubilot suivant qu'on marche en première ou en deuxième fusion, peut se loger dans la vaste panse de la cornue sans pénétrer dans les tuyères et n'occupe qu'une fraction relativement faible du vide total de l'appareil.

On redresse le convertisseur en donnant, en même temps, le vent pour que la fonte, au moment du relevage, ne pénètre pas dans les trous des tuyères.

L'affinage commence aussitôt sous l'action des filets d'air comprimé qui traversent le bain métallique. On y distingue trois périodes :

La période de *scorification*.

La période de *décarburation*.

La période des *fumées*.

**1. Période de scorification.** — Cette période est aussi appelée *période des étincelles*. Au bec de la cornue, on remarque un courant gazeux formé d'azote mêlé d'étincelles rouges et blanches dues aux globules scoriacés et métalliques entraînés par le vent.

Le *silicium* brûle le premier, donnant de la silice, oxyde fixe restant dans la cornue et cédant au bain sa chaleur de formation qui est considérable. De là, la nécessité de ne traiter que des fontes ayant une teneur assez forte en silicium pour que la chaleur dégagée par la combustion de ce combustible intermoléculaire soit suffisante pour rendre fluide l'acier formé par l'affinage.

Le *manganèse* commence à brûler mais en faible proportion et le carbone ne brûle presque pas.

Le bruit du passage de l'air à travers le bain de fonte est intense et sourd ; peu à peu, il diminue, car le métal plus fluide se laisse mieux traverser par le vent.

La durée de la période varie de quatre à douze minutes et est proportionnelle à la teneur en silicium de la fonte traitée ; cependant, elle est aussi fonction de la teneur en manganèse, ce dernier élément commençant à brûler vers la fin de cette période.

**2. Période de décarburation.** — Cette période est aussi appelée *période des flammes* et n'est nettement discernable qu'après une période intermédiaire consécutive à la période de scorification d'une durée de deux à trois minutes environ et dans laquelle la plus grande partie du manganèse achève sa combustion.

Alors apparaît, au bec de la cornue, une flamme jaune orange avec stries rouges et bleues qui grandit, blanchit et finit par être longue et brillante. Les étincelles disparaissent ou, du moins, sont devenues plus fines et sortent en traînées continues.

C'est le *carbone* qui brûle en donnant d'abord de l'acide carbonique puis de l'oxyde de carbone à mesure que l'opération s'avance ; aussi, la flamme devient-elle de plus en plus vive.

Il y a un bouillonnement intensif dans la cornue, les gaz qui s'échappent du bec de l'appareil produisent un bruissement sifflant très caractéristique.

La durée de cette période varie de quinze à dix-neuf minutes.

**3. Période des fumées.** — A mesure que le carbone disparaît, la flamme passe du blanc éblouissant au blanc rosé, il se dégage ensuite de l'appareil une fumée abondante, d'abord

blanche, puis rouge, déposant une poussière très fine de peroxyde de fer ( $\text{Fe}^2\text{O}^3$ ) mélangé de silice et d'oxyde de manganèse.

C'est le *fer* qui brûle.

Il importe toutefois de ne pas oublier que ce métal, par suite de sa forte proportion dans la masse fluide, s'oxyde un peu pendant tout le cours de l'opération.

La durée de la troisième période doit être aussi courte que possible et ne doit pas excéder deux ou trois minutes.

**4. Détermination du point d'arrêt.** — On peut se demander pourquoi l'affinage n'est pas aussitôt arrêté lorsque le bain est à la teneur en carbone recherchée pour l'acier en fabrication.

La raison en est bien simple :

Le bain chargé d'oxyde de fer donnerait un métal à peu près impropre à tout travail mécanique de transformation à chaud.

Cependant, dans certains cas exceptionnels, il est permis d'adopter la solution précédente, notamment lorsque les fontes traitées (*fontes au bois de Suède et d'Autriche*) sont essentiellement pures et riches en manganèse.

On réalise alors dans ce cas la marche dite *sans spiegel*.

Dans le cas général, il faut bien se garder

d'opérer ainsi ; l'opération doit être arrêtée quand on juge que la décarburation est complète, c'est-à-dire au moment où la flamme a presque complètement disparu au col de la cornue.

A ce moment, le bain est à l'arrêt.

On abaisse alors le convertisseur de façon que son grand axe soit horizontal, on arrête l'arrivée du vent et on ajoute, dans l'appareil, un réactif destiné à désoxyder le bain. Mais, comme ce réactif est une fonte, on introduira nécessairement du carbone dans le bain d'acier.

Il y aura donc lieu de rechercher comment, tout en désoxydant le bain par l'un des éléments étrangers accompagnant le carbone dans cette fonte spéciale, on ajoutera néanmoins la quantité de carbone voulue pour recarburer le bain à la dose requise.

## II. DU RÉACTIF DESOXYDANT

Le réactif employé pour désoxyder le bain est une fonte manganésée prise, comme teneur en manganèse, dans toute l'étendue de l'échelle de ces fontes spéciales, depuis les *spiegeleisen* aux facettes spéculaires jusqu'aux ferro-manganèses

à 80 ou 85  $\%$ , et cela suivant la nuance de l'acier à élaborer (1).

C'est à M. *Valton*, alors qu'il était Ingénieur en chef des usines de Terrenoire (Loire), que revient l'honneur d'avoir donné le premier, dès 1886, dans le *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale* publié à Saint-Etienne, l'explication rationnelle du rôle joué par ces fontes de réaction.

La fonte manganésée, spiegel ou ferro-manganèse, remplit un double office :

1° Elle désoxyde le bain par son manganèse.

2° Elle le recarbone par son carbone.

L'oxyde de manganèse produit passe dans la scorie.

Il fut ensuite reconnu, par la pratique, que, pour désoxyder un bain d'acier, il faut, en moyenne, un pour cent de manganèse métal-

---

(1) Dès que la proportion de manganèse dans une fonte atteint 3 à 4  $\%$ , la fonte qui, pour des teneurs inférieures en cet élément, était dite simplement *manganésée*, prend le nom de *spiegeleisen* ou même de *spiegel*, jusqu'à teneur en manganèse de 20 à 25  $\%$ . A partir de cette teneur, la texture spéculaire disparaissant, on réserve à ces fontes spéciales, jusqu'aux teneurs maxima de 80 à 85  $\%$  de manganèse, le nom générique de *ferro-manganèse*.

Les *spiegels* et les *ferro-manganèses* se fabriquent au haut-fourneau en allure extra-chaude.



lique; ce qui veut dire que, dans une cornue contenant 10 tonnes d'acier, il faudra ajouter 100 kilogrammes de manganèse métallique.

Or, les fontes manganésées ont une teneur en carbone oscillant entre 4 à 7 % et une teneur en manganèse oscillant entre des limites très étendues, soit depuis 3 à 4 % jusqu'à 80 ou 85 %. Il en résulte que leur teneur en carbone peut être considérée comme sensiblement constante si on la compare à la teneur en manganèse.

Comme la quantité de manganèse métallique nécessaire à la désoxydation ne dépend que du tonnage du bain d'acier, on tire la conclusion suivante :

*Le métal obtenu renfermera d'autant moins de carbone, et sera, par suite, d'autant plus doux, que le manganèse ajouté proviendra d'un alliage plus riche en manganèse.*

Il en résulte qu'on pourra fabriquer des aciers durs à l'aide des spiegels, des aciers très doux à l'aide des ferro-manganèses riches et des aciers intermédiaires par un choix judicieux exercé dans l'échelle si étendue des fontes manganésées d'après leur teneur en manganèse.

Quoiqu'il semble, d'après les données précédentes, qu'on puisse fabriquer à son gré des aciers de toutes nuances, il y a une réserve à

*faire* pour la fabrication au Bessemer acide des aciers extra-doux qui sont de véritables fers fondus.

Le silicium ne peut pas, en effet, être éliminé intégralement en fin d'affinage, sa présence est donc un obstacle forcé à la pureté et à la douceur du métal final. Or, on sait que la fonte à traiter au convertisseur acide doit être riche en cet élément.

### III. DÉTERMINATION DU DEGRÉ D'AVANCEMENT DE L'AFFINAGE

Les procédés qui permettent de juger de l'état d'avancement de l'affinage sont assez nombreux, mais ils sont loin de présenter le même degré de précision.

*L'examen direct de la flamme* peut être très utile quand on opère depuis longtemps sur les mêmes qualités de fontes d'affinage.

*L'échelle des variations de couleur de la corie*, si elle a été établie avec soin, pour chaque nature de fonte en traitement, pourra rendre de très grands services. On fera, à cet effet, des prises d'essai dans le convertisseur avec une cuillère à long manche revêtue intérieurement de terre

réfractaire, on coulera une petite quantité de scorie qu'on laissera refroidir et on en examinera la cassure.

L'emploi du spectroscope présente sur les procédés précédents un grand avantage, consistant dans la continuité du phénomène à partir du moment où le spectre est bien visible. L'ordre d'apparition et de disparition des raies étant à peu près fixe, on conçoit qu'on puisse se régler sur lui pour juger de la marche de l'affinage. Tout en signalant l'importance de l'emploi de cet appareil, nous ne pouvons entrer dans le détail des phénomènes qu'il sert à contrôler.

Enfin, les *essais directs du métal par prises en cours d'opération* sont toujours pratiqués concurremment avec l'une ou l'autre des méthodes précédentes. Ce sont les essais normaux, les plus habituels, constituant la base nécessaire dans la conduite de tout affinage. Le métal liquide est pris dans la cornue avec la cuillère à long manche et est coulé dans une lingotière métallique de très petites dimensions ; on démoule au bout de quelques instants.

Le métal solidifié, mais très chaud encore, est porté sur l'enclume d'un pilon de 4 à 500<sup>kg</sup> pour y être forgé et transformé en un petit disque qu'on ploie jusqu'à rupture (*fig.8*). A l'aspect du

grain, on apprécie sa dureté, sa teneur en carbone et en manganèse.

Cet essai de forgeage, dans lequel on a remarqué comment se comportait à chaud sous le choc du marteau l'acier en élaboration, est souvent complété par un essai de trempe pratiqué sur un fragment de métal découpé à la tranche dans le disque dès qu'on vient de le forger ou sur une

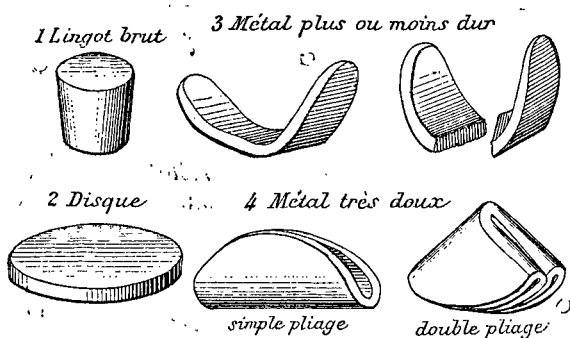


Fig. 8

autre prise également forgée et spécialement prélevée à cet effet. Cet essai de trempe consiste à plonger dans l'eau froide le métal forgé encore très chaud et à le ployer ensuite afin de le casser pour en examiner le grain.

Quand un bain d'acier est très oxydé, les bords du disque après forgeage sont remplis de criques

et de fentes à l'aspect scoriacé. A chaque nuance d'acier, correspondent des cassures sous un angle plus ou moins aigu ; quand le métal est très doux, on peut obtenir des pliages ou doubles pliages à bloc.

### BESSEMER BASIQUE OU PROCÉDÉ THOMAS ET GILCHRIST

Les minerais de fer phosphoreux sont les plus abondants ; traités au haut-fourneau, la théorie et la pratique apprennent qu'ils donnent toujours des fontes phosphoreuses.

Savoir affiner les fontes phosphoreuses en éliminant complètement le phosphore du produit final constitue un problème dont la solution fut activement recherchée et pendant de longues années par les ingénieurs sidérurgistes de tous les pays.

#### I. GENÈSE DE LA DÉCOUVERTE DE LA DÉPHOSPHORATION

La découverte de la déphosphoration des fontes dans les appareils élaborateurs d'acier n'a été rendue pratique que depuis une vingtaine

d'années environ. Les essais antérieurs exécutés pour arriver à la solution de ce grand problème industriel ne font pas défaut, mais il faut bien reconnaître que les principes sur lesquels s'appuient les procédés, ou bien relèvent trop du laboratoire, ou bien ne sont point suffisamment dégagés d'un certain empirisme.

Il appartenait à un ingénieur français, dont le nom fera encore longtemps autorité dans les questions de sidérurgie (1), de mettre la question sur son vrai terrain et de donner de cet important problème une solution aussi courte que précise, quitte aux élaborateurs d'acier de l'adapter ensuite à la pratique courante de la fabrication.

Dans le second volume de son *Traité de métallurgie*, paru en 1878, Gruner confirme, au sujet de la déphosphoration, les idées générales émises sur ce point dans le premier volume paru en 1875.

Après avoir annoncé que c'est l'*acidité de la scorie* qui s'oppose à la déphosphoration, l'auteur

---

(1) L. Gruner, Inspecteur général des Mines, ancien Professeur de métallurgie aux Écoles des Mines de Paris et de Saint-Étienne, auteur d'un traité remarquable de métallurgie malheureusement inachevé et de travaux théoriques fondamentaux sur les fontes et les aciers parus dans les *Annales des Mines*.

ajoute que l'affinage des fontes phosphoreuses ne pourra se réaliser *au convertisseur Bessemer ou dans les fours Siemens « aussi longtemps que le revêtement intérieur de ces appareils sera formé d'éléments argileux ou siliceux »*.

Et plus loin, il ajoute :

*Il y a là, et dans l'emploi de réactifs solides,* encore un vaste champ de recherches ouvert aux maîtres de forges.

On ne saurait mieux dire pour résumer les deux importantes conditions dont la réalisation régit toute la déphosphoration actuelle, du moins quand on veut exclusivement l'opérer sur la sole d'un four à reverbère, à savoir :

*Revêtements basiques.*

*Laitiers basiques.*

Au *Bessemer*, le mode d'affinage par insufflation d'air sous pression exige néanmoins une troisième condition que la marche même de l'opération contrôlée par les prises d'essai conduit à pressentir ; nous verrons dans la suite en quoi elle consiste.

Passant sous silence les essais multiples entrepris avant l'adaptation à la pratique de la solution théorique, essais qui n'ont plus qu'un intérêt tout à fait secondaire aujourd'hui, nous aborderons tout de suite l'exposé de la méthode

actuelle due à deux hardis inventeurs, MM. Thomas et Gilchrist.

C'est en septembre-octobre 1878 que ces deux ingénieurs publièrent successivement les divers résultats de leurs expériences concluantes entreprises dès 1875 pour déphosphorer au convertisseur Bessemer. Ils annoncèrent que la garniture basique était réalisée ; les additions basiques n'étaient pas indispensables à la déphosphoration mais leur emploi s'imposait dans la pratique courante, si l'on ne voulait pas que l'acide phosphorique formé par l'oxydation directe du phosphore par l'air insufflé ne donnât des phosphates basiques au détriment de la matière même de la paroi de la cornue.

*Mais il était nécessaire de modifier la conduite du soufflage, il y avait lieu de continuer à donner le vent pendant un certain temps après la combustion du carbone ; en agissant ainsi, au lieu de réaliser comme au Bessemer acide la période des fumées, c'est-à-dire la combustion nuisible du fer, on brûlait intégralement le phosphore.*

Cette opération était le *sursoufflage* ou *after-blow*.

Voyons maintenant comment s'opérera l'élimination de cet élément ; en un mot, étudions le mécanisme de la combustion intermoléculaire.



laire supplémentaire que nous venons de signaler.

## II. THÉORIE DE LA DÉPHOSPHORATION

Au Bessemer acide, le *silicium*, le *manganèse* et le *carbone* constituaient les trois combustibles intermoléculaires principaux, les deux premiers étant véritablement utiles pour donner la chaleur au bain, car les oxydes qu'ils forment sont fixes et restent dans la cornue au lieu de s'échapper sous forme gazeuse dans l'atmosphère,

Nous ne reviendrons pas sur l'impossibilité d'y affiner des fontes phosphoreuses, puisque le phosphore ne peut, pour des causes diverses, s'éliminer du produit final.

Au convertisseur basique, on se propose précisément d'affiner les fontes phosphoreuses ; un quatrième combustible intervient donc nécessairement, ce combustible est le *phosphore*.

Quoiqu'ayant un pouvoir calorifique inférieur à celui du silicium (5 000 calories au lieu de 7 000), le phosphore n'en est pas moins un combustible précieux ; mais, au lieu de brûler dans les débuts de l'affinage, il doit brûler à la fin suivant son ordre d'oxydation et, *théoriquement*, avant le carbone.

Les fontes à affiner ne pourront être riches en silicium, car les laitiers acides produits s'opposeraient constamment à la déphosphoration.

Il en résulte que les proportions de silicium et de phosphore des fontes à traiter en marche déphosphorante sont renversées si on les compare à celles qu'il fallait réaliser dans les fontes à affiner au procédé acide.

Malheureusement, si les fontes sont peu riches en silicium, la théorie du haut-fourneau est là pour nous rappeler que ces fontes seront blanches et, comme elles n'auront pas été obtenues en allure chaude, elles contiendront forcément du soufre. Le soufre sera donc un nouveau combustible intermoléculaire à considérer au Bessemer basique.

**1. Périodes précédant celles du sursoufflage.** — Tout d'abord, nous savons que le revêtement intérieur du convertisseur est basique; il est aujourd'hui presque partout constitué par un *pisé dolomitique* (pâte de poussière de dolomie préalablement calcinée agglutinée avec du goudron) et, plus rarement, par des briques maçonnées.

La fonte à affiner, provenant du haut-fourneau ou d'un cubilot, est versée dans le convertisseur; mais on introduit avec elle un *réactif qu'on*

*n'employait pas en marche acide et qui est la chaux portée à haute température.*

La période des étincelles se retrouve encore puisque la fonte n'est pas sans silicium et sans manganèse.

La chaux s'unira à la silice formée au moins en partie et le bain contiendra à la fin de cette période des silicates de chaux, de fer et de manganèse constituant sa scorie.

Or, le phosphore doit maintenant brûler suivant son ordre théorique d'oxydation et cependant les choses ne se passent pas ainsi. Pour bien saisir le mécanisme de cette oxydation, nous envisagerons deux cas extrêmes.

Supposons d'abord que la fonte en traitement soit assez riche en silicium ; alors, les laitiers formés sont riches en silice et en contiennent près de 25 à 30 %. En présence de ces laitiers acides, l'acide phosphorique formé par la combustion du phosphore ne pourra rester uni à la chaux. Les phosphates de chaux n'acquerront de la stabilité que lorsque l'opération sera suffisamment avancée pour que la chaux initiale d'addition portée alors à une température suffisante aura pu saturer la silice en excès.

Mais le carbone brûlant avant que la formation des phosphates de chaux ait pu être com-

plètement achevée, l'oxyde de carbone engendré réduira l'acide phosphorique produit et le phosphore se réincorporera au métal.

Abandonnons ce cas limite pour ne considérer que le cas normal d'une fonte peu riche en silicium.

Alors le phosphore pourra presque entièrement passer à l'état de phosphate de chaux stable puisque la silice qui aura pu être facilement saturée ne déplacera plus l'acide phosphorique. En tous cas, les phosphates de chaux seront en proportion bien plus grande que précédemment. Il semble donc qu'il suffirait pour éliminer le phosphore de faire écouler les scories phosphatées ainsi formées.

En réalité, le phénomène est plus complexe.

D'une part, la combustion du silicium a fourni peu de chaleur au bain d'acier puisque la proportion de cet élément est faible. D'autre part, les éléments ne brûlent pas dans des périodes de durée nettement définies ; le combustible intermoléculaire qui suit le phosphore dans l'ordre d'oxydation, soit le carbone, commence à brûler avant que la combustion du phosphore soit intégralement achevée.

Il y a donc production d'oxyde de carbone et, par suite, réduction d'acide phosphorique avant

que tout le phosphore oxydé ait pu s'unir à la chaux. Et comme les deux combustibles, *silicium* et *phosphore*, n'ont pu fournir avant que la décarburation commence, la quantité de chaleur nécessaire pour donner à l'acier la fluidité nécessaire, le premier, parce qu'il est en quantité trop faible, le second, parce qu'il n'a pu brûler intégralement, il en résulte que le décrassage par écoulement de la scorie s'effectuerait dans des conditions défectueuses. La liquation de la scorie n'aurait pu s'accomplir.

Il faut donc laisser la décarburation s'achever et forcément consentir à la réincorporation du phosphore dans le bain par la réduction inévitable opérée par l'oxyde de carbone.

Mais alors, dès que le carbone aura fini de brûler, le *phosphore* brûlera à son tour.

## 2. Période du sursoufflage ou after-blow.

— On voit la flamme qui sort du bec de la cornue, quand cette période va commencer, s'échauffer de plus en plus et devenir d'un blanc intense.

L'oxydation du phosphore est très rapide et, pour une fonte à 0,50 % de silicium et 2,5 % de phosphore, ce qui constitue un minimum moyen en silicium et un maximum moyen en phosphore, la teneur en phosphore descend à

un millième dans une période comprise entre trois et quatre minutes.

C'est dans cette période que la température du bain s'élève dans une très forte proportion ; grâce à la chaleur développée par la combustion du phosphore, le métal gagne la fluidité que, dans le Bessemer acide, lui procurait la combustion du silicium.

Il sortirait du cadre de notre travail d'entrer dans le détail des discussions qui se sont élevées au sujet de la nature du composé phosphaté formé dans l'élimination du phosphore.

Il semble très probable que c'est à l'état de *phosphate tétrabasique de chaux* que le phosphore est éliminé. Ilâtons-nous d'ajouter que la théorie a lieu d'être surprise d'un pareil résultat puisque jusqu'alors le phosphate tribasique était seul connu. Ce côté théorique de la question est loin d'être élucidé ; il importait toutefois de le signaler.

Pendant le sursoufflage, le spectroscopie ne donne plus d'indications car la flamme rentre dans le bec de la cornue ; seules, les prises de métal sont possibles. Le phosphore est caractérisé dans les cassures par des paillettes blanches de métal, cristallines, ayant une longueur qui peut atteindre 2 ou 3 millimètres. En d'autres

termes, la cassure d'un métal phosphoreux, au lieu d'être à grains arrondis comme celle d'un acier normal, présente un aspect feuilleté à grains plus ou moins allongés et brillants.

L'aspect de la cassure, d'après la grosseur du grain et la compacité générale du métal, indique aussi le degré de décarburation et permet de déterminer la quantité de spiegel ou de ferro-manganèse nécessaire pour la désoxydation et la recarburation, suivant la dureté demandée.

**3. Période de combustion du soufre ou over-after-blow.** — Sans bien savoir comment s'élimine le soufre, l'expérience a prouvé qu'en continuant le soufflage après l'*after-blow*, on pouvait se débarrasser de la plus grande partie de ce métalloïde.

Comme, d'autre part, l'expérience a aussi prouvé que, pendant l'*after-blow*, une certaine quantité de manganèse était réincorporée au métal, la présence de ce manganèse faciliterait, par la formation de sulfure de manganèse, l'élimination de cet élément si nuisible à chaud dans les aciers.

Mais l'*over-after-blow* n'est pas sans inconvénients, car pendant qu'il s'accomplit, on brûle beaucoup de fer; aussi, faut-il le rendre aussi court que possible et le supprimer, quand on le

pourra, en ne traitant, dans la cornue Thomas, que des fontes préalablement soumises à une désulfuration par l'un des procédés connus.

**4. Opérations finales.** — L'opération proprement dite d'affinage étant terminée, il faut procéder, *après avoir décrassé le bain par écoulement des scories ou laitiers*, aux additions finales de spiegel ou de ferro-manganèse pour amener le métal au degré de désoxydation et de recarburation convenables avant de procéder à la coulée.

Si l'on ne faisait pas ce décrassage avant d'effectuer les additions, l'oxyde de carbone résultant de la réaction de la fonte recarburante réagirait sur les phosphates de la scorie et réincorporerait du phosphore dans le métal.

Tandis qu'il était très difficile d'obtenir des aciers extra-doux ou fers fondus au Bessemer acide à cause du reliquat inévitable de silicium dans le produit final, on peut dire que le Bessemer basique, où l'on réalise l'élimination complète du silicium et du carbone (*puisque sans crainte d'oxyder le fer, on brûle tout le carbone par le sursoufflage*) permet d'obtenir des aciers extra-doux en recarburant uniquement par des ferro-manganèses riches.

Par contre, les aciers durs sont difficilement



réalisables dans le procédé Thomas ; car, outre que le métal est complètement désilicié, le carbone de la fonte spéciale recarburante est perdu en partie par la réaction du reliquat de scorie ou de laitier que le décrassage n'a pas entièrement éliminé.

Enfin, pour terminer la théorie du *Bessemer*, il y aurait lieu de parler des petits convertisseurs adoptés par les aciéries de moindre importance. Nous ne saurions traiter ce sujet un peu spécial sans sortir des limites de notre étude ; leur théorie et leur pratique ne différant que fort peu de celles qui sont applicables aux convertisseurs proprement dits de fort tonnage. Le lecteur trouvera, du reste, dans le volume de l'Encyclopédie intitulé *La Fonderie* quelques renseignements sur les conditions de leur emploi.

---

## CHAPITRE II

---

### PROCÉDÉ MARTIN-SIEMENS

Ce procédé comprend plusieurs méthodes d'élaboration ou *variantes de travail* pratiquées à l'aide d'une même série d'appareils et basées sur l'application industrielle des principes posés autrefois par Réaumur. Ces méthodes sont généralement comprises sous une dénomination unique, assez impropre d'ailleurs, à savoir celle d'*affinage par réaction*.

Comme dans le procédé Bessemer, on peut ou bien ne traiter que des fontes exemptes de phosphore ou pratiquer la déphosphoration.

L'ensemble d'une installation Martin-Siemens comprend, comme on sait, les *gazogènes*, les *chambres de récupération* et le *four à sole proprement dit*.

En marche déphosphorante, nous avons appris, dans le volume de cette étude consacré

aux *Foyers métallurgiques*, qu'il était possible de constituer les revêtements intérieurs de la sole, non seulement en matériaux *basiques* mais aussi en autres matériaux spéciaux, dits *neutres*.

### I. MÉTHODE PAR DILUTION DU CARBONE OU « SCRAP-PROCESS »

Le principe posé par Réaumur est fort simple ; la difficulté consiste dans son application qui exige la réalisation d'une température suffisamment élevée pour arriver à la fusion des matières.

Il est clair que si l'on peut faire dissoudre dans un bain de fonte des morceaux de fer ou d'acier préparés à cet effet, ou provenant de déchets, de vieilles ferrailles (riblons), etc., d'autre part, le carbone de la fonte se répartira, ainsi que ses autres matières étrangères du reste, dans une masse ferreuse plus grande, donnant telle ou telle nuance d'acier, selon la dureté de la fonte initiale, ou mieux, selon la douceur et les proportions des additions effectuées.

Si dans 1 000 kilogrammes de fonte à 3 % de carbone, par exemple, *on peut faire dissoudre* 5 000 kilogrammes de fer doux, on aura 6 000 ki-

logrammes de métal à  $\frac{5}{1000}$  de carbone, c'est-à-dire de l'acier.

En réalité, ce procédé d'élaboration n'est pas aussi simple qu'il le paraît ; on ne saurait pratiquement compter sur un métal à teneur en carbone aussi rigoureusement calculée.

Les morceaux de fer ou d'acier, déchets de fabrication ou vieilles ferrailles, sont plus ou moins oxydés ; en outre, il n'est pas possible d'effectuer un pareil mélange dans une atmosphère qui ne soit pas oxydante, il faudra donc faire la part de l'affinage par oxydation.

En marche acide, et nous supposerons que tel est le cas, les fontes à employer seront des fontes blanches, peu carburées, peu siliceuses, et cela afin de limiter les additions de fer ou d'acier, matières d'un prix souvent plus élevé que celui des fontes.

Les meilleures fontes, si l'on est abondamment approvisionné en riblons, seront les fontes blanches légèrement truitées.

La fonte est chargée froide ou chauffée au rouge à l'aide de fours auxiliaires, à la main ou avec des chargeurs mécaniques appropriés. Concurrément avec la fonte, on charge des déchets de lingots, chutes, crasses, etc. (*scraps* et *boccages*) en certaine proportion.

Quand le mélange est bien fluide, soit après trois ou quatre heures, on ajoute, pour affiner le bain, des matières plus douces que les matières initiales chargées avec la fonte au début de l'opération ; soit du fer, soit des riblons d'acier plus ou moins doux, soit un mélange des deux.

La quantité de riblons à ajouter varie avec celle des *scrap*s ou *boccages*, ou même quelquefois de *fer puddlé* primitivement introduits ; elle forme le dernier tiers de la charge.

On surveillera la marche de cet affinage, *particulièrement lent* puisqu'il exige plusieurs heures, par des prises de métal en éprouvettes de coulée analogues à celles dont il a été question au Bessemer acide.

Pour les raisons déjà exposées, on ne peut arrêter l'affinage à la teneur en carbone requise pour la nuance d'acier à fabriquer. On pousse l'opération jusqu'à une limite telle qu'on ait complètement oxydé le silicium et les autres éléments de la fonte, *sans que toutefois le carbone qui s'oxyde le dernier ait été complètement brûlé et cela afin de ne pas brûler trop de fer.*

Pour les aciers *durs*, *demi-durs*, ou *demi-doux*, on pousse autant que possible l'affinage jusqu'à une éprouvette contenant de 0,200 à 0,150  $\%$  de carbone.

Pour les aciers *doux* ou *extra-doux*, la teneur en carbone variera de 0,150 % à 0,120 et 0,100.

En d'autres termes, l'affinage sera poussé d'autant plus loin que le métal à obtenir devra être plus doux.

Pour arriver à ces teneurs, on ajoutera, si besoin est, des riblons d'autant moins carburés que les prises d'essai auront indiqué un métal plus dur, mais à des doses relativement faibles, par 200, 300 kilogrammes environ. Quand on sera arrivé à ces limites extrêmes de décarburation, le *point d'arrêt* sera obtenu.

Les additions de ferro-manganèse ou de spiegeleisen se font dans le four lui-même ou dans la poche de fonderie au moment où l'on va couler.

## II. MÉTHODE AU MINÉRAI OU « ORE PROCESS »

La méthode de travail, qui consiste à *affiner la fonte par l'oxygène du minerai de fer*, date de l'époque des premiers essais de W. Siemens lorsqu'il cherchait, de son côté, à réaliser, comme MM. Martin, la fusion de l'acier sur la sole d'un four à reverbère ; elle est surtout applicable dans le cas de rareté ou de prix exceptionnel des riblons de fer ou d'acier,

Cette fabrication, d'abord localisée en Angleterre, s'est du reste introduite en France où elle n'a pas tardé à se répandre ; il y a lieu d'ajouter d'ailleurs qu'elle n'y est pas appliquée dans son principe d'une façon rigoureuse, car, dans la pratique, le chargement de la sole contient trois quarts à quatre cinquièmes de fonte et un quart à un cinquième de scraps d'acier. On affine ce mélange à l'aide d'une addition de minerai riche égale à 18 à 25 % du poids de la fonte.

Le minerai n'est chargé qu'au bout de trois ou quatre heures, quand la charge initiale de fonte et de scraps est bien fluide, et par quantités variant de 50 à 200 kilogrammes.

Quand l'ébullition consécutive à cette addition s'est calmée et que les nombreuses bulles d'oxyde de carbone traversent seulement le bain en couvrant sa surface de petites flammes bleuâtres, on procède à un nouveau chargement de minerai.

On juge de la fin de la décarburation quand le dégagement d'oxyde de carbone est tout à fait ralenti. On effectue alors des prises d'essai et, suivant leur résultat, on fait les additions finales.

Contrairement à l'opinion généralement répandue avant les expériences exécutées à Gratz (1881-1882), ce n'est pas directement qu'agit le

minerai, mais par l'intermédiaire de la scorie. Dès que le minerai est au contact du bain, il éprouve une réduction à peu près immédiate; la scorie surnageant le bain se charge de plus en plus d'oxyde de fer. Puis, l'oxyde de fer de la scorie réagit sur le bain de métal et, tandis que le métal carburé est ainsi affiné, la plus grande partie du fer de la scorie passe dans le métal si l'allure est convenable. Par suite, la couleur de la scorie devient graduellement plus claire et finit par passer au vert clair.

C'est à M. de Ehrenwerth, professeur de métallurgie à l'Université de Leoben, que la sidérurgie est redevable d'une étude complète, théorique et expérimentale, de l'*ore process*.

### III. MÉTHODE DES LOUPES

Les barres de fer puddlé, riblons de fer et d'acier du *scrap-process* ou le minerai de l'*ore process*, ajoutés à la fonte d'affinage, peuvent être remplacés par des *loupes* ou des *éponges de fer* provenant d'une méthode d'élaboration pratiquée d'autre part et fournissant le métal à l'état pâteux. C'est ce qu'on a appelé la *troisième variante* du procédé Martin-Siemens.



Les loupes agissent sur la fonte comme le fer en barres mêlé d'oxydes, car les pores de ces masses non cinglées renferment toujours beaucoup de scories ; la réaction est très énergique à cause de l'extrême état de division des particules ferreuses.

Comme dans l'*ore process*, avec lequel il a beaucoup de points communs, le procédé des loupes favorise la formation d'une grande quantité de scories. Or, cette scorie, qu'il faudrait pouvoir expulser à un moment donné, est le plus souvent visqueuse et s'écoule difficilement par suite d'une température insuffisante ; dans ce cas, comme elle se sépare mal du métal lui-même, elle peut occasionner dans les lingots de graves accidents. Il faudra donc disposer de récupérateurs fournissant beaucoup de gaz riches en éléments combustibles pour obtenir une température suffisante.

#### IV. MARCHÉ EN DÉPHOSPHORATION

Vers 1880, lorsque le succès du procédé Thomas et Gilchrist fut bien assuré, on pensa généralement qu'il serait possible de faire, pour le procédé Martin, ce qui avait si bien réussi pour

la cornue Bessemer. Presque simultanément, les aciéries construisirent des soles avec des matériaux basiques et entreprirent la méthode de travail en déphosphoration avec des succès divers.

Une distinction nécessaire doit être tout d'abord établie avec le procédé suivi pour déphosphorer au Bessemer basique.

Une fonte quelconque, pourvu qu'elle ne soit pas notablement sulfureuse, riche ou non en phosphore, peut être affinée et épurée au four à sole basique.

Au Bessemer basique, on devait assurer à la fonte une teneur convenable en phosphore pour que la combustion intermoléculaire donnât au bain la chaleur nécessaire à sa fluidité. Au four Martin ce sera inutile, on sait, en effet, que *la source de chaleur est indépendante de l'élaboration même* de l'acier sur la sole du four.

Le travail sur sole basique ou neutre peut se subdiviser en deux variantes principales, suivant que l'on a ou non recours à des additions d'oxyde de fer.

Si l'on n'emploie pas de semblables additions, l'action oxydante est exercée exclusivement par l'atmosphère du four ; aussi, cette formule de travail n'est-elle usitée d'ordinaire que dans les

usines où l'on dispose d'une proportion de riblons relativement importante et à bon marché et où, par suite, l'affinage peut être conduit rapidement ; le travail à l'oxyde de fer ou au minerai convient, au contraire, au traitement des charges où la fonte prédomine et quand la quantité de riblons dont on dispose est insuffisante.

On peut ajouter que, pour faciliter l'oxydation du phosphore et hâter son élimination, l'addition d'oxyde de fer ou de minerai parait s'imposer en allure déphosphorante.

Quand le four est prêt à recevoir la charge, on distribue sur le pourtour de la sole les deux tiers environ du poids total de la chaux d'addition ; on introduit ensuite les gueusets de fonte parmi lesquels on jette le restant de la chaux et quelquefois une partie du minerai ou des oxydes de fer artificiels, reliquats de fabrication, mêlés ensemble.

Une fois la fusion obtenue, soit au bout de quatre heures environ, on ajoute par pelletées successives le reste du minerai et une quantité supplémentaire de chaux.

Nous ne reviendrons pas sur l'ordre d'élimination des divers éléments étrangers dans l'affinage ; comme au Bessemer basique, le phos-

phore brûle avant le carbone, mais dans le Martin, les laitiers surchargés de phosphate quadribasique de chaux sont *très fluides*, la chaleur provenant d'une source étrangère à l'appareil d'élaboration. On peut donc *décrasser* à ce moment pour que la décarburation n'intervienne à son tour pour réincorporer le phosphore au produit final.

L'examen de la couleur des laitiers et les résultats des prises d'essai du métal fixent sur l'état d'avancement de l'affinage et provoquent de nouvelles additions, s'il y a lieu, de chaux ou de riblons.

On procède aux additions finales comme on l'a antérieurement expliqué.

En résumé ; *laitier ultra-basique abondant*, puis *décrassage* à une phase bien déterminée de l'opération, telles sont les deux conditions de réussite de la déphosphoration sur sole basique ou neutre. Il faut y ajouter la *production d'une haute température* pour donner aux laitiers calcaires éminemment réfractaires la fluidité voulue.

Quant au *soufre*, il ne semble pas que son élimination soit bien prouvée ; aussi y a-t-il lieu de redire que le mieux est de partir de fontes initiales d'affinage n'en contenant que très peu,

soit naturellement, soit parce qu'on les aura soumises à la désulfuration dans un appareil approprié.

Les produits obtenus au four Martin basique ou neutre sont caractérisés par une très grande douceur. Comme dans le procédé Thomas, on peut y réaliser des aciers extra-doux qui sont de véritables fers fondus ; mais, par contre, la fabrication des aciers durs y est assez difficile.

---

## CHAPITRE III

---

### COULÉE DU MÉTAL FONDU

L'acier obtenu à l'état liquide par l'une des deux méthodes principales d'élaboration décrites dans les deux chapitres précédents est coulé *le plus généralement* dans des récipients métalliques donnant, après refroidissement, des blocs plus ou moins compacts appelés *lingots*, de profils et de sections ordinairement fort simples mais éloignés des dimensions définitives que doit avoir l'objet une fois fabriqué.

C'est par des modifications successives de formes, *déterminées par un travail à chaud au marteau-pilon, à la presse ou au laminoir*, qu'on amènera le lingot à l'état d'objet brut de forge, qu'un usinage ultérieur à froid transformera, après un plus ou moins grand nombre de traitements métallurgiques spéciaux de *recuit, trempe et revenu*, en objet fini.

L'étude du *Travail des métaux dérivés du fer* fait l'objet d'un volume spécial de l'Ency-

clopédie ; elle fait ressortir que c'est bien là le fond même du travail de l'acier, le forgeage n'amenant pas exclusivement des modifications dans la forme extérieure mais exerçant aussi, et il importe de ne pas l'oublier, une action non seulement bienfaisante mais souvent nécessaire sur les qualités mécaniques du métal, au point de vue de son emploi ultérieur.

Mais on peut également, à l'instar de la fonte, couler l'acier dans des moules en terre réfractaire ayant les formes finales des objets à obtenir. L'idée est, à première vue, fort séduisante et sa réalisation pratique a fait, depuis longtemps, l'objet des recherches incessantes de nombreux ingénieurs.

Nous allons voir dans le présent chapitre que cette fabrication exige, pour l'acier qui y est soumis, des conditions de compacité souvent difficiles à assurer et qu'il n'est pas possible de l'adopter pour des pièces devant, en usage courant, résister à de grands efforts dynamiques.

## I. PROCÉDÉS DE COULÉE EN LINGOTS

La coulée est une opération qui consiste à extraire le métal fondu de l'appareil où il a été élaboré et à le verser dans des récipients qui

sont, suivant le cas, des lingotières ou des moules.

Ne retenons pour le moment que la coulée en lingotière.

C'est une opération toujours délicate, car il faut saisir le métal à une température bien convenable, suivant sa nuance, et qui exige de grandes précautions au point de vue même de son exécution. La masse d'acier à couler est, en effet, souvent considérable ; les convertisseurs Bessemer pouvant contenir jusqu'à douze ou quinze tonnes, la capacité des fours Martin variant de quelques tonnes à quinze, vingt, cinquante tonnes et même plus.

L'étude détaillée des divers procédés de coulée exigerait de très longs développements ; nous devons nous borner à donner quelques notions générales sur cet important sujet.

Le métal liquide peut être introduit dans les lingotières par deux procédés, soit *directement*, soit *par l'intermédiaire d'une poche de fonderie*.

Chacun de ces procédés comprend deux variantes : la coulée à la *descente* et la coulée en *source*.

**1. Coulée directe et coulée en poche.** — Dans la *coulée directe* (fig. 9), il n'y a pas d'appareil intermédiaire entre l'appareil d'élaboration du



métal et la lingotière qui le reçoit. On dispose les lingotières sur une plate-forme tournante ou sur des rails, de manière à les présenter successivement au dessous de l'orifice de coulée pratiqué sur la face postérieure du four Martin ou devant le bec du convertisseur.

Ce procédé a l'inconvénient d'entraîner avec le métal une partie des scories qui n'auraient

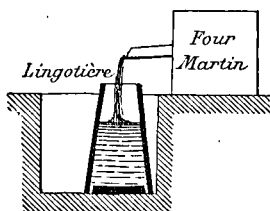


Fig. 9. — Coulée directe

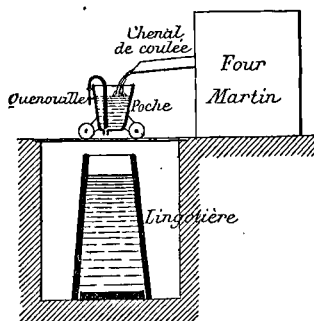


Fig. 10. — Coulée en poche

pas été enlevées complètement par le décrassage et les débris des matériaux réfractaires arrachés aux parois du four ou du conduit de coulée.

Le lingot obtenu présente souvent, dans ce cas, des défauts appelés *piqûres*.

Dans la *coulée en poche* (fig. 10), le métal est reçu directement à sa sortie du four dans une ou

plusieurs poches de fonderie à quenouille, puis est versé de la poche dans les lingotières en découvrant l'orifice pratiqué à sa partie inférieure et bouché normalement par le bout de la quenouille.

La poche doit avoir été préalablement chauffée avant qu'on y verse l'acier afin de ne pas trop refroidir celui-ci.

Par ce procédé, les scories et le sable entraînés surnagent dans la poche au-dessus du métal liquide, si on a soin de laisser le temps nécessaire pour que cette liquation s'accomplisse avant de remplir les lingotières.

Ce second mode de coulée s'impose, du reste, pour les gros lingots lorsque le métal provient de plusieurs fours et doit remplir une seule lingotière.

Dans ce cas, le métal des différents fours est le plus souvent conduit, par des rigoles revêtues intérieurement de terre réfractaire, dans une poche unique qu'on place ensuite au-dessus de la lingotière disposée dans une fosse de coulée très profonde.

Les poches ont des contenances très variables selon le tonnage des fours de l'usine et la grosseur des lingots que peuvent forger ses appareils de transformation ; celles de dix, quinze,

vingt-cinq, trente tonnes se rencontrent souvent dans les aciéries, quelques-unes atteignent, dans les grandes installations, une contenance de cent tonnes.

La poche de coulée ou de fonderie (fig. 11) est en forte tôle, garnie intérieurement d'une couche d'argile réfractaire mélangée de paille hâchée qui facilite son adhérence aux parois ou revêtue d'une épaisseur de briques réfractaires.

La couche d'argile qui est le plus souvent employée, a une

épaisseur uniforme de quelques centimètres aux parois verticales, elle augmente vers le coude reliant ces parois avec le fond et s'incline vers l'orifice que garnit une brique de forme spéciale percée suivant son axe d'un canal cylindrique et appelée *coulée*.

Sur la coulée placée dans le fond de la poche, au centre ou plus près de la paroi selon les types

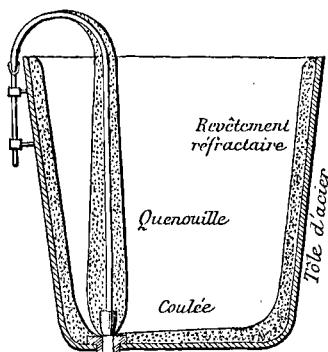


Fig. 11. — Poche de fonderie d'acier

de poche, vient prendre appui un tampon métallique fixé à l'extrémité d'une tige revêtue extérieurement de terre réfractaire. Cette tige, appelée *quenouille*, est recourbée; elle se raccorde avec une glissière verticale placée à l'extérieur de la poche et est manœuvrée avec un levier.

**2. Coulée à la descente et coulée en source.** — Suivant que le métal est versé dans la lingotière par la partie supérieure de celle-ci

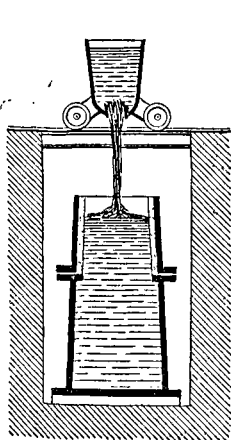


Fig. 12. — Coulée à la descente.

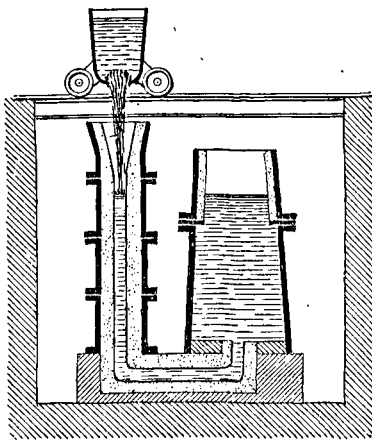


Fig. 13. — Coulée en source.

ou qu'il y arrive par un siphon vertical extérieur, garni intérieurement de terre réfractaire

pour maintenir le métal aussi chaud que possible et débouchant à la partie inférieure, la coulée est dite à *la descente* ou en *source*.

La *coulée à la descente* (fig. 12) est simple et convient pour les petits et moyens lingots ; pour ceux de plus fortes dimensions, on peut s'exposer à briser la plaque de fond de la lingotière ou de la percer à l'arrivée du jet d'acier.

Dans ce mode de coulée, on peut signaler un autre inconvénient ; l'acier liquide, tombant d'une trop grande hauteur dans les lingotières, rejaillit souvent vers les parois en gouttelettes rapidement refroidies qui y restent attachées ou retombent dans la masse liquide. Or, ces globules oxydés superficiellement ne se soudent pas au métal du lingot proprement dit et forment ce qu'on nomme des *gouttes froides*, nuisibles pour l'homogénéité du lingot.

La *coulée en source* (fig. 13) obvie à ces inconvénients, mais elle n'est pas à l'abri de toute critique ; car elle constitue un dispositif onéreux ; la garniture réfractaire se délite assez rapidement, ses débris étant souvent entraînés dans la lingotière ; et, en outre, le métal pénétrant par le bas de la lingotière, c'est l'extrémité inférieure du lingot qui se trouve la plus chaude lorsque la coulée est terminée.

La *retassure* ou *vide* existant dans l'axe de tout lingot d'acier coulé pourra, de ce fait, être abaissée dans la partie moyenne du lingot. Or, on a tout intérêt à la fixer à la partie supérieure puisqu'on doit sectionner le lingot pour se débarrasser de la région inutilisable qui la contient.

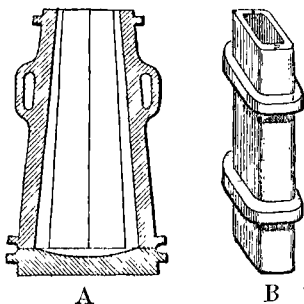
Il faut toutefois signaler qu'on a imaginé des palliatifs variés pour remédier aux gouttes froides en réglant à volonté, par des dispositifs appropriés, la hauteur de chute de l'acier dans la coulée à la descente.

**3. Des lingotières.** — Les lingotières sont en fonte grise à grains serrés, de bonne qualité. Leur forme la plus ordinaire est celle d'un tronc de pyramide, à section carrée, rectangulaire ou polygonale, ouvert, en général, à ses deux extrémités. La grande base repose sur une *plaque de fond* en fonte assez épaisse sur laquelle vient frapper le jet liquide dès les premiers instants de la coulée à la descente et qui en fait, en somme, un récipient fermé par le bas.

La section *carrée* est employée pour les petits et moyens lingots; les sections *hexagonale* et *octogonale* sont très en usage pour les gros lingots; la section *rectangulaire* est celle des lingots pour tôles ou plaques de blindages. La

section *circulaire* est généralement proscrite à cause des criques ou déchirures qui se produisent souvent sur la peau du lingot, lors de son refroidissement dans la lingotière.

Pour faciliter le démoulage, le corps de la lingotière est pyramidal (*fig. 14 A*); cette disposition n'est cependant pas absolue, car, on trouve, dans quelques usines, pour de petits lingots, des lingotières en deux parties s'emboîtant l'une dans l'autre ou prenant appui par une feuillure et maintenues par des frettes en fer (*fig. 14 B*).



*Fig. 14.* — A, lingotière pyramidale;  
B, lingotière en deux tronçons.

Enfin, dans certaines fabrications spéciales, on rencontre des lingotières de formes appropriées à ces fabrications et donnant un lingot plus ou moins rapproché de l'objet fini ou de formes telles que sa transformation ultérieure à chaud sera plus facile : on peut citer les lingotières pour *obus de rupture* destinés à traverser les blindages, pour *bandages de roues*, etc.

Le *vide central* ou relassure se produit, en général, pour toute matière fondue coulée dans un récipient et qui ne s'y fige pas immédiatement par le refroidissement. Ce vide se localise dans la partie du métal restée liquide la dernière et qui sert à abreuver les régions refroidies plus vite et dans lesquelles s'opère la contraction. Comme cette région est inutilisable, on a intérêt à ce qu'elle soit dans le lingot à une place pour ainsi dire repérée à l'avance et telle qu'on puisse s'en débarrasser sans trop grand déchet de matière.

Aussi, pour reporter la retassure vers le haut du lingot, coiffe-t-on souvent la partie supérieure de la lingotière métallique d'une sorte de moule en sable étuvé qui en forme comme un prolongement et dont la carcasse extérieure est, comme dans la plupart des moules du reste, constituée par un châssis métallique relativement léger. On est sûr, en opérant ainsi, que le métal des couches supérieures du lingot restera liquide le plus longtemps.

C'est ce qu'on appelle *ménager une mas-selotte*.



## II. MOULAGES D'ACIER

L'étude physique du lingot montre que le métal n'a pas, en toutes les régions, la compacité nécessaire ; il y a des petites cavités ou poches dites *soufflures* qui sont remplies de gaz.

Le forgeage ne les détruit pas, mais en rapproche suffisamment les parois pour qu'on puisse considérer ces défauts comme absolument inoffensifs. En coulant l'acier dans des moules en sable, ces soufflures ne sauraient disparaître par l'emploi d'un procédé mécanique quelconque, puisque la pièce représentant l'objet fini ne doit pas être soumise à un travail de déformation. Il faut donc que l'acier élaboré soit tel, qu'une fois coulé, *il n'ait plus de soufflures*.

Pendant de longues années, la solution du problème de l'acier coulé sans soufflures a fait l'objet des recherches patientes des Ingénieurs sidérurgistes.

**1. Quelques mots sur la genèse de la fabrication.** — C'est aux usines de Terrenoire (Loire) que revient l'honneur d'avoir résolu scientifiquement le problème de la réalisation d'aciers coulés sans soufflures, susceptibles, par suite, de fournir des moulages d'acier.

En 1871, les usines françaises et étrangères se préoccupaient d'assurer la fabrication d'obus en fonte dure capables de traverser les plaques de blindage.

Pour arriver à obtenir une fonte pouvant prendre, par le refroidissement en coquille, une trempe énergique, l'usine de Terrenoire ajoutait à un bain de fonte très siliceuse versée sur la sole d'un four Martin, des quantités croissantes de chutes de rails d'acier jusqu'à ce que le résultat cherché fut atteint.

Afin de mieux étudier les proportions les plus convenables, on prenait à des intervalles très rapprochés, des éprouvettes de métal que l'on cassait pour en observer le grain.

*Ces éprouvettes montraient tout d'abord une structure compacte et homogène ; puis, tout d'un coup, apparaissaient des soufflures dont l'importance augmentait rapidement.*

*L'analyse démontra que l'apparition des soufflures coïncidait avec la diminution de la teneur en silicium.*

Dans une contre-expérience, une addition de fonte siliceuse fut faite à de l'acier Martin et à de l'acier Bessemer de nature souffleuse ; les soufflures disparurent, l'acier devint compact et homogène.

Il n'y avait plus de doute :

*Le silicium était la cause de l'absence des soufflures.*

Le fait était constant ; les métallurgistes le mirent à profit en introduisant le silicium dans le bain d'acier à couler sans soufflures sous forme de fonte siliceuse spéciale (*ferro-silicium*). Et comme, pour désoxyder un bain d'acier (*et cette opération est indispensable dans tous les procédés d'élaboration*), il faut ajouter une fonte manganésée spéciale (*ferro-manganèse*), on demanda à la métallurgie de la fonte, une fonte telle qu'elle contint, en proportions convenables selon les cas, le manganèse pour désoxyder et le silicium pour faire disparaître les soufflures. Cette fonte ne fut autre chose que le *ferro-manganèse-silicium*, appelée aussi *silico-spiegel*. Le rôle chimique, plus ou moins exact au point de vue absolu, attribué au silicium dans la disparition des soufflures permit aux métallurgistes d'employer un autre corps qui devait jouer le même rôle : l'*aluminium* à l'état pur ou sous forme de *ferro-aluminium*. Introduit à plus petite dose pour produire le même effet, l'aluminium procura des aciers non souffleurs possédant la propriété de ne pas être riches en silicium.

**2. Explications théoriques.** — Plusieurs théories furent successivement proposées :

a) *Théorie de la réaction.* — On crut tout d'abord que les gaz des soufflures étaient uniquement constitués par de l'oxyde de carbone.

Dès lors, l'explication était simple ; le silicium s'oxydait aux dépens de l'oxyde de carbone en passant à la scorie sous forme de silice et le carbone libre se dissolvait dans l'acier.

b) *Théorie de la dissolution.* — Mais bientôt des doutes s'élevèrent sur cette prétendue réaction, d'ailleurs discutable en principe, du silicium sur l'oxyde de carbone.

Les expériences de M. Harmet aux aciéries de Denain et celles du professeur Muller de Brandebourg démontrèrent que les gaz des soufflures étaient surtout constitués par de l'hydrogène mélangé à une faible quantité d'oxyde de carbone.

Le silicium ne pouvait donc avoir pour effet que de *prolonger la solubilité des gaz dans l'acier* au delà du point de solidification.

c) *Explications de M. U. Le Verrier.* — La théorie de la dissolution ne suffit pas pour expliquer comment des doses aussi faibles de silicium peuvent exercer sur la solubilité une action sensible ; c'est encore pis quand il s'agit de l'aluminium dont il ne reste pas trace dans

le métal non soufleur et qu'on ajoute à une teneur quelquefois inférieure à un millième.

M. U. Le Verrier, Ingénieur au Corps des Mines, proposa de concilier les deux théories précédentes en modifiant un peu le rôle attribué à l'oxyde de carbone ; au lieu d'être la cause directe des soufflures, ce gaz n'en serait que l'occasion, mais l'occasion nécessaire.

*C'est lui qui, en se dégageant, provoquerait le départ de l'hydrogène qui, sans cela, resterait dissous.*

Si l'on verse dans un verre de l'eau gazeuse, l'effervescence se calme bientôt ; cependant, l'eau contenant toujours de l'acide carbonique, l'effervescence ne reparait que si l'on agite le liquide.

De même, quand on verse de l'acier fondu dans un moule, le dégagement de l'hydrogène peut se calmer s'il n'y a pas de cause étrangère pour l'entretenir : mais, si la production d'oxyde de carbone entretient le bain dans un état d'agitation, l'hydrogène continue à se dégager avec effervescence.

Le *silicium*, l'*aluminium* et même le *manganèse* dans une certaine mesure, en réduisant l'oxyde de carbone pour donner de la silice, de l'alumine ou de l'oxyde de manganèse passant à la scorie, constitueraient donc trois réactifs de

désoxydation de ce gaz qui, une fois détruit, laisserait l'hydrogène uniformément dissous dans le bain d'acier (1).

**3. Des pièces moulées.** — La confection du moule, la coulée, le démoulage sont des opérations tout-à-fait analogues à celles qui concernent les moulages de fonte. Toutefois, les sables employés étant beaucoup plus siliceux, les moules doivent être, avant la coulée, fortement étuvés à 350 ou 400° environ. Nous renvoyons le lecteur pour les détails concernant ces opérations au volume de l'Encyclopédie intitulé *La Fonderie* (2).

Un acier convenable pour le moulage doit être

---

(1) Depuis peu de temps, un nouvel alliage fabriqué au four électrique le *carborundum* (carbure de silicium) est employé, comme réactif pour obtenir des aciers sans souffres, sous forme de briquettes que l'on place dans la poche de coulée. Soluble dans la fonte et dans l'acier fondu, il a un grand pouvoir réducteur ; c'est, en outre, un composé endothermique qui, en se décomposant, cède au bain métallique dans lequel on l'a introduit une grande partie de sa chaleur de formation et augmente de ce fait la fluidité de l'acier, condition essentielle pour obtenir de beaux moulages.

(2) U. LE VERRIER. — *La Fonderie*. Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire. Gauthier-Villars et Masson, éditeurs.

fluide, homogène, *exempt de soufflures* et surtout d'oxydes de fer.

L'acier à moulages correspond généralement à ce qu'on appelle la nuance *mi-douce* dans l'échelle des aciers ; on en fabrique quelquefois en nuances *plus dures* et souvent maintenant en nuances *très-douces* donnant des pièces en véritable fer fondu et d'une très grande malléabilité.

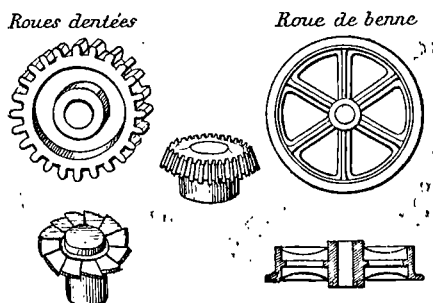
L'acier en fusion et très chaud se solidifie rapidement et moins régulièrement que ne le fait la fonte. Le retrait linéaire de l'acier est beaucoup plus fort et atteint 2 % environ : ce retrait varie suivant la composition de l'acier et dans une même pièce. Ainsi, la différence entre les retraits horizontaux et les retraits verticaux d'une pièce coulée debout s'accroîtra nettement, alors qu'elle eût été négligeable pour une pièce en fonte. En outre, la retassure y sera fort importante.

De là, la nécessité de construire les modèles en conséquence, eu égard au retrait, et de ménager de très fortes et nombreuses masselottes, eu égard à la retassure.

Les sables employés en France sont préparés avec la terre de Voreppe, les sables de Vierzon, les écaillages ou débris pulvérisés de vieux creusets ayant servi à la fusion de l'acier.

Le retrait de l'acier étant très fort, il en résulte dans la pièce refroidie des tensions énormes qui nécessitent le renforcement de certaines parties de la pièce et notamment des angles rentrants qui tendraient à s'ouvrir et qu'il faut, encore plus que pour la fonte, consolider par des nervures.

La fabrication des moulages d'acier a pu être étendue à un grand nombre de pièces qui étaient obtenues naguère par voie de forgeage (*fig. 15*)



*Fig. 15.* — Types de pièces moulées.

et que des traitements calorifiques bien compris de trempe et de revenu ont placées dans d'excellentes conditions de résistance. Il est permis d'espérer avec certains métallurgistes que ce sera peut-être le procédé de l'avenir.



## CHAPITRE IV

—

### ACIERS SPÉCIAUX ET PROCÉDÉS RÉCENTS

Voyons d'abord comment on élabore les aciers dits *spéciaux* ; nous étudierons ensuite les *procédés récents* auxquels la pratique n'a pas encore donné, sans doute, la sanction définitive qu'ont reçue les deux procédés primordiaux Bessemer et Martin mais qui témoignent néanmoins des efforts incessants tentés dans la voie d'une fabrication toujours moins onéreuse, tout en étant aussi soignée, et surtout plus rapide.

#### I. ACIERS SPÉCIAUX

L'échelle des aciers au carbone devint bientôt insuffisante pour donner satisfaction aux divers *desiderata* des constructeurs : on remarqua que

l'introduction à côté du carbone de corps existant ou n'existant pas préalablement dans les fontes d'affinage procurait aux aciers des propriétés précieuses.

Dès lors, apparurent ce qu'on a appelé les *aciers spéciaux* ; les uns conservant encore les propriétés caractéristiques dues au carbone, amoindries ou modifiées dans un rapport que l'expérience fit connaître, les autres riches surtout en ces éléments étrangers et ne conservant souvent en carbone que ce qu'on n'avait pu leur enlever en affinant les fontes initiales.

Il appartient à la théorie générale des aciers, exposée dans le volume de cette Encyclopédie intitulé *Travail des métaux dérivés du fer*, de montrer comment on a pu grouper en une synthèse rationnelle les propriétés souvent si différentes à première vue de ces nombreux métaux et comment il est possible de prévoir dans quelle mesure seront affectées les caractéristiques d'un acier au carbone d'après la teneur et la nature du ou des éléments étrangers incorporés.

**1. Aciers coulés sans soufflures.** — Ces aciers, dont il a été question au chapitre précédent, ne rentrent pas, à proprement parler, dans la catégorie des aciers spéciaux. C'est bien par

l'addition de *silicium* ou d'*aluminium* qu'ils acquièrent leurs propriétés particulières, mais on ne saurait attribuer à la présence même de ces corps dans l'acier leur rôle bienfaisant. Ils agissent en passant à la scorie et ce qu'il en peut rester dans l'acier n'est que l'excès de ce qu'on en a ajouté pour être certain d'avoir provoqué intégralement la réaction nécessaire.

On ne peut donc appeler ces aciers, aciers au *silicium* ou à l'*aluminium*.

Il n'en reste pas moins évident que, pour les obtenir, il suffirait de majorer, dans le bain d'acier, l'addition de *ferro-silicium* ou de *ferro-aluminium* et même d'*aluminium pur* aux proportions requises.

Ces additions pourront se faire dans l'appareil d'élaboration, même après les additions finales, ou dans la poche de coulée au moment où on va la remplir de métal élaboré.

**2. Aciers chromés.** — Le chrome donne aux aciers des propriétés très précieuses dont l'étude ne ressortit pas à notre sujet. Pour l'introduire dans l'acier, on se sert de *ferro-chrome* qui est une fonte chromée plus ou moins riche en chrome obtenue au haut-fourneau, au creuset ou au cubilot. On charge ce ferro-chrome dans l'appareil d'élaboration vers la fin de l'opé-

ration et, en général, quand la désoxydation a été accomplie. Il importe, en effet, que l'atmosphère du four soit neutre ou réductrice et que le bain d'acier soit aussi peu riche que possible en oxygène.

A la température de fusion, le chrome a une tendance très grande à s'oxyder. Or, dans ce cas, il ne se forme pas, comme avec l'oxyde de manganèse et la silice, un silicate fusible et liquide plus léger que l'acier et qui monte facilement à la surface; l'oxyde de chrome ou, d'après quelques auteurs, le chromite de fer reste incorporé avec tendance à prendre l'état pâteux.

On s'explique ainsi comment il serait impossible d'obtenir des fers ou des aciers chromés en *puddlant* les *ferro-chromes*. Chaque grumeau de métal affiné qui se formerait serait, en effet, entouré d'une pellicule oxydée adhérente et, par suite, non soudable, de sorte que, sous le marteau cingleur, il serait impossible de réunir ces grumeaux en une loupe adhérente et propre.

Les ferro-chromes étant, en général, très fortement carburés, il pourrait paraître naturel de songer à les employer à la place du ferro-manganèse pour recarburer un bain d'acier; on se

heurterait, dans cet emploi, aux inconvénients de l'oxydation que nous venons de signaler.

On considère aussi comme bien difficile de produire des aciers extra-doux notablement chromés. Il y a à cette production, en effet, une double difficulté; d'abord, les ferro-chromes dont on dispose sont toujours très carburés. En second lieu, l'acier obtenu deviendrait, à la coulée, plein de scories et de veines, et cela parce qu'il serait très oxydable et peu fusible.

Si l'on consent à la dureté en carbone, on pourra élaborer sans trop de peine toute une série de métaux chromés; mais il y a lieu de remarquer que les aciers chromés à *haute teneur* en chrome récemment obtenus doivent être plutôt considérés comme des métaux d'essai que comme des métaux industriels.

Le mécanisme de l'affinage dans la cornue Bessemer ne permet pas, pour les raisons exposées ci-dessus, qu'on y élabore les aciers chromés. Cette remarque s'applique, du reste, à tous les aciers spéciaux; il convient même d'ajouter que, pour certains d'entre eux dont la composition s'éloigne par trop de la composition normale des aciers à carbone, le four Martin lui-même ne saurait convenir et que c'est au *creuset* qu'il faut penser à les élaborer.

Cette dernière remarque ne s'applique pas cependant aux aciers nickel à haute teneur.

**3. Aciers nickel et chrome-nickel.** — L'acier nickel se fabrique au four Martin à sole acide, basique ou neutre sans difficulté spéciale. Le *nickel*, plus ou moins pur, est acheté directement par l'aciérie et ajouté à l'état de cubes ou de rondelles dans le bain d'acier vers la fin de l'opération. Il est bon de chauffer ces morceaux de nickel à la chaleur rouge dans un four voisin pour hâter leur fusion et ne pas trop refroidir le métal liquide.

Il n'y a, en somme, rien à changer dans le travail ordinaire ; le nickel introduit passe presque en totalité dans l'acier, car il s'oxyde à peine. La durée de l'opération n'est pas modifiée et l'on termine, comme d'ordinaire, en désoxydant et en recarburant par le ferro-manganèse.

L'acier obtenu est calme et ne monte pas dans les moules ou dans les lingotières, il paraît très homogène, se coule bien, est très fluide et se solidifie assez rapidement ; quand il est très chargé en nickel, il a tendance à avoir un fort retrait.

Les déchets qui proviennent de la fabrication elle-même ou de l'élaboration ultérieure du métal peuvent se refondre sans pertes pour le

nickel qu'ils contiennent, ce qui présente pour le emploi des vieilles matières de ce genre une importance sérieuse à cause du prix relativement élevé du nickel pur.

On peut aussi associer dans un même acier le *chrome* et le *nickel*, indépendamment du *carbone* qui y figure toujours en teneur variable. Il n'y a qu'à effectuer concurremment avec une addition de nickel une addition de ferro-chrome à la richesse convenable. On prétend même que le nickel diminuerait la tendance très grande que présente le chrome à l'oxydation.

Ainsi, le nickel peut être incorporé sans difficulté à l'acier; mais il y a lieu de faire à ce sujet deux remarques importantes.

Il n'est pas toujours facile, dans l'élaboration même des aciers au carbone, d'obtenir un bain bien homogène à cause des liquations que provoquent les variations forcées de la température. *A fortiori*, cet inconvénient se présente-t-il avec les aciers contenant de nombreux éléments étrangers. De là, l'usage par certaines aciéries, pour ces fabrications spéciales, de mélangeurs ou malaxeurs mécaniques remplissant plus ou moins bien leur office.

D'autre part, pour que le nickel puisse être incorporé utilement à l'acier, l'absence du *soufre*

est indispensable. La métallurgie des aciers-nickel ne peut offrir d'intérêt au point de vue pratique qu'autant qu'on ne traitera dans les appareils d'élaboration que des fontes ayant été soumises à un traitement désulfurateur ; sinon, on incorporerait au métal, non plus du nickel, mais des sulfures dont les propriétés sont très nuisibles.

C'est à la présence presque inévitable du soufre qu'il faut attribuer l'impossibilité de traiter au four Martin pour obtenir des aciers nickel des fontes nickélifères produites au haut-fourneau par l'adjonction au lit de fusion de minerais de nickel. Cependant, l'intérêt d'une pareille fabrication ne saurait échapper, puisque la sidérurgie serait ainsi affranchie de l'achat direct du nickel élaboré d'autre part par sa métallurgie spéciale et dont le prix de revient est fort élevé. Il importe toutefois de signaler que la question du traitement de ces fontes nickélifères n'est pas abandonnée et qu'elle sera vraisemblablement résolue dans un avenir peu éloigné.

**4. Aciers manganésés.** — Quand on veut fabriquer des aciers particulièrement riches en manganèse, on mêle dans une poche de coulée du fer liquide décarburé au four Martin ou



même au Bessemer avec du ferro-manganèse d'une richesse convenable et en quantité telle que, même après la désoxydation nécessaire du métal et sa recarburation, il reste assez de manganèse pour que l'acier en contienne la dose recherchée.

Une addition aussi riche en ce métal ne se fait pas dans l'appareil d'élaboration afin de soustraire le métal manganésé à une oxydation trop rapide.

Le manganèse est, en effet, très avide d'oxygène et c'est bien, comme on le sait, la raison de son emploi comme réactif. A cause de cette propriété même, il n'est pas toujours facile d'en éviter un certain déchet.

## II. PROCÉDÉS RÉCENTS

**1. Désoxydation par le charbon.** — Les additions finales nécessaires pour la désoxydation et la recarburation du bain d'acier se font, on l'a vu, à l'aide de *spiegeleisen* ou de *ferro-manganèse*.

Les fontes manganésées sont d'un prix élevé et le manganèse qu'elles apportent ne concourt pas toujours intégralement à accomplir la réaction utile qu'on recherche.

Il y a une perte.

Le métal en fusion est, en effet, recouvert vers la fin de l'opération d'une nappe importante de scories plus ou moins oxydées sur lesquelles on ne peut empêcher l'action réductrice du manganèse de se porter. L'idée est donc venue de jeter dans le four en une ou plusieurs fois, avant qu'on procède aux additions finales et pour s'opposer à cette perte, quelques pelletes de charbon sous forme de coke très divisé.

Cette utilisation du charbon comme réducteur n'avait pas échappé à H. Sainte-Claire Deville, qui l'avait proposée, il y a longtemps déjà, mais on n'avait pas pu la réaliser complètement jusqu'à ces dernières années dans les aciéries en pratique courante. Si l'on ajoute, en effet, du charbon dans l'appareil d'élaboration, non plus en petites quantités et à intervalles déterminés pour désoxyder la scorie, mais tout d'un coup en quantité convenable pour désoxyder intégralement la charge, un bouillonnement très vif se manifestera, donnant lieu parfois à des explosions ou à des projections de métal toujours dangereuses.

L'important est donc de rendre pratique, non plus la désoxydation partielle toujours facile

mais la désoxydation intégrale et la recarburation à l'aide du charbon, de façon à éviter l'emploi du ferro-manganèse.

En dehors de la question d'économie, on conçoit, en outre, qu'il puisse y avoir intérêt à obtenir pratiquement des aciers sans traces de manganèse et presque exclusivement carburés, servant de point de départ ou de métal-mère pour la fabrication des aciers spéciaux.

Il semble que la question ait été résolue par le procédé de *filtration de l'acier liquide* proposé en 1890 par MM. Gilchrist et Darby, directeurs de l'usine de Brymbo dans le Nord du pays de Galles.

Sans décrire le filtre primitif proposé par les inventeurs, nous donnerons simplement quelques explications au sujet du dispositif plus pratique adapté dans la suite, dans le même but, à un four Martin (*fig. 16*).

Entre la poche de coulée et un récipient plein de matière carburante concassée se trouve, convenablement supportée, une petite poche intermédiaire qui est le *filtre*.

Le filtre est constitué par une enveloppe extérieure en tôle rivetée et revêtue intérieurement de matières réfractaires, son fond consiste en une plaque robuste et très réfractaire percée

de trous. Le récipient contenant la matière carburante est fermé par un tiroir dont l'ouverture, plus ou moins grande, permet de régler à volonté l'écoulement du carbone dans le filtre placé au-dessus de la poche de coulée, où il se

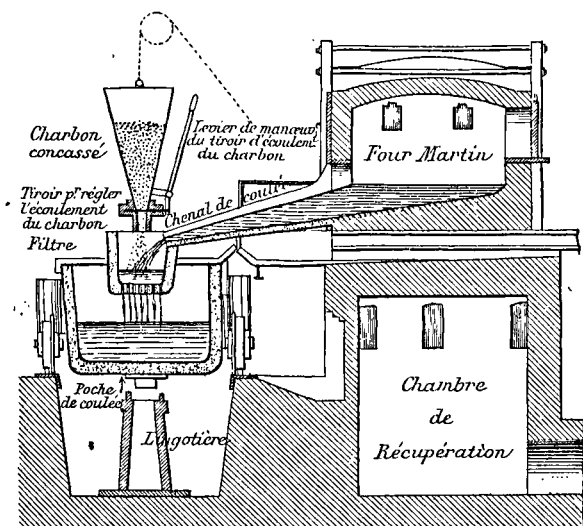


Fig. 16. — Appareil système Darby pour la filtration de l'acier liquide.

mélange avec l'acier en fusion qui, s'écoulant en même temps du four Martin, se *carbure*, se *désoxyde* et va remplir la lingotière en nom-

breux jets déterminés par son passage à travers les trous de la plaque de fond perforée.

La perte de matière carburante par combustion est d'environ 15 à 20 % avec le graphite des cornues à gaz ; elle est un peu plus forte avec le coke.

En dehors de la question de la pureté du métal obtenu, il est certain que si cette manipulation peut devenir pratique, l'économie du prix de revient ne sera pas à négliger.

En France, on se contente le plus généralement de procéder à des additions plus ou moins répétées de coke à l'état de poussier avant de faire les additions finales. Cette manière d'opérer s'est surtout généralisée dans la fabrication des aciers nickel et chrome-nickel au four Martin.

**2. Principes généraux des procédés récents.** — Il semble que les efforts des métallurgistes tendent de plus en plus à l'obtention d'un métal pur, en partant de matières premières quelconques au point de vue de la teneur en éléments nuisibles ou inutiles et en l'élaborant dans le minimum de temps.

Pour y arriver, les inventeurs estiment que *les matières impures doivent d'abord subir un traitement épurateur* peu prolongé dans un

premier appareil affineur où le laitier produit récupérera la plus grande partie des éléments nuisibles ou inutiles ; le métal épuré, séparé de son laitier et ainsi mis à l'abri des réactions subsidiaires qu'ils accompliraient l'un sur l'autre, *est transvasé dans un nouvel appareil qui achèvera rapidement l'affinage.*

a) *Procédé Bertrand-Thiel.* — Les usines de Kladno (Bohême) possédaient deux fours Martin, l'un de douze et l'autre de vingt tonnes qui avaient été construits à la suite l'un de l'autre, le second en contre-bas du premier d'environ 3 mètres. Ce hasard de construction donna l'idée aux inventeurs de charger dans le four supérieur la fonte riche en silicium et en phosphore en la traitant à l'*ore process* et de la couler dans le four inférieur dans lequel on fond toute la charge en riblons en même temps que le reste de la fonte et un peu de minerai de fer, soit une charge à peu près pure.

Le four supérieur, chargé le premier et avec la plus grande partie de la fonte, est fortement chauffé pendant trois ou quatre heures, temps suffisant pour faire passer au laitier le silicium et presque tout le phosphore.

Comme la charge du four inférieur est en couche mince, qu'elle contient plus de riblons

que celle du four supérieur et qu'enfin elle est plus pure, elle se trouve déjà fortement oxydée au moment où la charge du four supérieur n'est que partiellement affinée et cela, même en chargeant deux ou trois heures plus tard ce four inférieur.

Cette charge supérieure, partiellement affinée, est alors amenée sur la sole du four inférieur (en ayant soin de retenir la scorie au passage) et mélangée avec la charge oxydée. Les deux charges réagissent violemment et rapidement l'une sur l'autre et l'affinage s'effectue presque instantanément. Dès que la décarburation est suffisante, on procède aux additions finales et l'on coule comme d'habitude.

On est en droit de se demander pourquoi, par le procédé Bertrand-Thiel, l'affinage est beaucoup plus rapide. Le savant professeur américain, H. Howe, donne, à ce sujet, les explications suivantes :

Dans l'opération Martin ordinaire, la vitesse de décarburation est limitée par le bouillonnement de la charge qui risque d'entraîner une partie du métal hors des portes ou à l'intérieur des carneaux. De là, la nécessité de ne procéder qu'à de certains intervalles aux additions de matière douce ou de minerai.

Dans le procédé Bertrand-Thiel, la rapidité de l'affinage peut être attribuée aux causes suivantes :

Pour un four de dimensions données, *il y a plus d'espace libre pour le métal*, en raison de la faible quantité de scorie, celle du four supérieur ayant été éliminée au passage et celle du four inférieur ne provenant que de la portion oxydée du métal, alors que, dans l'opération ordinaire, la gangue du minerai en fournit une grande quantité.

*Le métal mi-affiné et le métal affiné se diffusent très rapidement*, il en résulte que la réaction s'accomplit simultanément dans toute la masse du métal. Dans l'opération Martin ordinaire, au contraire, cette réaction se produit localement et progressivement entre le minerai de fer froid et la surface libre du métal seulement, en sorte que le métal et la scorie se refroidissent au contact du minerai et prennent l'état pâteux.

*La température est plus élevée dans le procédé Bertrand-Thiel* : d'abord, en raison même de la plus grande rapidité de la réaction exothermique qui s'accomplit entre l'oxyde de fer et le carbone, et ensuite parce que les matières réagissantes, métal mi-affiné et métal oxydé,



se trouvent à une température très élevée, alors que, dans l'opération Martin ordinaire, la réaction se passe entre le carbone du métal refroidi par places et le minerai de fer froid ou les matières d'addition, insuffisamment chauffées, par la nécessité de les introduire encore solides sur la sole du four.

On peut alors se demander pourquoi cette décarburation, par le fait même qu'elle est plus rapide, ne détermine pas un bouillonnement considérable. La raison en est que le bouillonnement ne peut se produire qu'avec un corps plus ou moins visqueux ; la scorie, précisément parce qu'elle est moins fluide que le métal, est la principale cause du bouillonnement.

*b) Procédé Stockman.* — Dans ce procédé, le premier appareil réalisant l'épuration est une sorte de convertisseur Bessemer à revêtement basique sur le fond duquel on a disposé un réactif composé de minerai de fer titanifère et de nitrate de soude, le tout recouvert d'une mince tôle de fer.

La fonte liquide provenant du haut-fourneau ou d'un cubilot est versée dans ce convertisseur, la feuille de tôle est bientôt fondue et le réactif produit son action oxydante en formant un laitier qui surnage à la surface. On opère alors le

décrassage et le métal épuré est versé sur la sole d'un four à puddler ou d'un four Martin où se termine l'affinage par l'une des variantes de travail spéciales à chacun de ces procédés.

c) *Procédé Duplex*. — Dans cette méthode, la fonte est d'abord débarrassée du silicium au convertisseur acide; puis, immédiatement après, on la déphosphore et on la décarbure au four Martin basique. Ce procédé a été l'objet de notables perfectionnements, surtout de la part de MM. Daelen et Psczolka, qui ont imaginé un convertisseur spécialement applicable à cette opération et soufflé avec le même air chaud qui alimente le haut-fourneau.

Sans préjuger de la consécration que pourra lui donner l'expérience de la pratique courante, il est permis de penser que ce procédé paraît plein d'avenir, car, d'une part, il jouirait de tous les avantages inhérents au procédé Bessemer, à savoir, rapidité et faible consommation de combustible, et, d'autre part, il n'en présenterait pas les inconvénients en ce qui concerne les pertes en fer et la qualité inférieure des produits qu'il fournit, comparés à ceux du four Martin.

d) *Désulfuration et déphosphoration préalables au cubilot Rollet*. — Il y a lieu de don-

ner un aperçu rapide sur le cubilot proposé, il y a déjà longtemps (1882), par M. Rollet mais dont l'emploi ne s'est vraiment généralisé que depuis quelques années.

Cet appareil a pour but d'éliminer le soufre et le phosphore des fontes d'affinage, de manière à obtenir des produits équivalents aux fontes de Suède ou aux anciennes *fontes au bois*.

Ces fontes seront ensuite traitées directement au four Martin ou soumises au puddlage, donnant des fers puddlés (*fers Rollet*), de qualité remarquable, pouvant subir la cémentation ou bien être ajoutés à la fonte initiale d'entrée comme matière d'addition.

Les fontes que l'on veut transformer, par le passage à ce cubilot, en fontes d'une grande pureté doivent y être traitées : une première fois par *oxydation* pour être déphosphorées, une deuxième fois dans une *atmosphère neutre* ou *réductrice* pour être désulfurées.

Les agents employés pour la *déphosphoration* sont, en dehors de la castine et du spath fluor destiné à donner de la fluidité au laitier, l'air chaud et le minerai. Le chargement en coke doit être assez judicieusement calculé pour que la marche soit nettement oxydante. Une telle allure avec excès de minerai ne peut être soute-

nue pendant longtemps, à cause du danger constant de produire des *coups ferreux* dans le cubilot.

Pour la *désulfuration*, la marche est plus facile, car il faut simplement se rapprocher pour la conduite de l'appareil de celle adoptée pour le haut-fourneau. L'absence du minerai dans le lit de fusion supprime l'oxydation générale qu'il fallait réaliser pour la déphosphoration. Le soufre de la fonte, quand toutes les conditions de bonne marche sont obtenues, est souvent réduit à une teneur que l'analyse ne décèle plus.

La marche en désulfuration peut être considérée comme la marche normale du cubilot Rollet et, de tous les appareils désulfurateurs employés en grand nombre et successivement abandonnés, il faut bien le reconnaître, c'est celui qui paraît, jusqu'à présent du moins, avoir donné les meilleurs résultats.

e) *Coulée de l'acier par petites quantités*. — Pour remédier au désavantage du procédé Martin ordinaire dont la puissance de production est trop restreinte, on a songé d'abord à construire des fours à sole de capacités de plus en plus grandes. Mais lorsqu'il s'agit de fabrications communes et qui doivent fournir des produits

destinés à une transformation continue tels que les rails, les tôles, etc., ces fours de grand tonnage offrent l'inconvénient de ne donner du métal qu'à de longs intervalles et par lots beaucoup trop considérables, dont le poids peut atteindre vingt-cinq, cinquante et même jusqu'à soixante-quinze tonnes.

Le procédé Bessemer doit évidemment être employé dans ce cas, et de fait, c'est l'appareil d'élaboration par excellence pour ce genre de fabrication.

Cependant on a eu l'idée, d'un autre côté, de remédier, pour le four Martin lui-même, à l'inconvénient de sa lenteur de production. C'est là l'objet du procédé continu sur sole basique, imaginé et mis au point par M. Talbot de Pencoyd (Pensylvanie).

Au lieu de traiter chaque charge individuellement et de couler en une seule fois la totalité du métal, M. Talbot emploie un four *basculant* du système Wellmann et coule, à intervalles assez rapprochés, de manière à ne retirer du four que le quart environ de la charge. Le métal coulé est remplacé par de la fonte liquide qui se diffuse immédiatement dans le bain. Au bout de quelques heures, on coule de nouveau un quart de la charge que l'on remplace encore

par une quantité équivalente de fonte. L'opération se poursuit ainsi pendant toute une semaine sans vider le four ni changer sa température d'une façon appréciable.

Grâce au volant de chaleur énorme constitué par les trois-quarts de la charge qui restent constamment dans le four, le métal qu'on y introduit pour parfaire le chargement se trouve immédiatement à la température requise pour être rapidement décarburé.

La fonte spéciale (spiegel ou ferro-manganèse) est généralement versée fondue dans la poche même de coulée, au moment de chaque coulée partielle.

*f) Sur les fours basculants ou oscillants.* — On vient de voir dans la mise en œuvre du procédé Talbot l'emploi d'un four basculant système Wellmann.

Ce genre de fours *basculants* ou *oscillants* commence à s'introduire dans les aciéries américaines à grande production. Leurs modèles sont des plus variés; nous citerons les types Wellman et Stafford, le type Campbell, le type Potter, etc.

Ces fours ont fait trop récemment leur apparition pour qu'il soit possible de les apprécier en toute connaissance de cause. Toutefois, on

peut dire qu'avec leur trou de coulée toujours au dessus du métal et facile à garnir, ils permettent d'éviter facilement la rentrée de l'air et de couler vite à tout instant. Ils assureraient aussi, par le mouvement qu'ils impriment à la masse fluide, une décarburation plus rapide, tout en obviant aux inconvénients qui résultent du bouillonnement, puisqu'il suffit de faire basculer convenablement le four pour empêcher la scorie de s'échapper par les portes de chargement.

C'est presque toujours par l'action d'un piston mù dans un cylindre hydraulique que le four peut basculer, soit qu'il roule à l'aide de galets sur une voie courbe, soit qu'il oscille sur des couteaux qui le portent en son milieu.

Enfin, ces fours facilitent aussi le transfert de la charge d'un four dans un autre, d'un four acide à un four basique et *vice versa*, par exemple, ainsi que leur chargement par des bacs ouverts manœuvrés à la grue.

---





## TITRE III

—

### PROCÉDÉ DE LA CÉMENTATION

Lorsqu'on veut épurer la fonte aussi complètement que possible, il faut prolonger l'affinage presque jusqu'au fer doux, puis arriver à l'acier de nuance requise par une *recarburation* convenable : c'est ce qui se pratique dans les procédés Bessemer et Martin-Siemens.

Mais comme cette recarburation accompagnée, du reste, comme on sait, d'une désoxydation, se fait par l'intermédiaire d'une fonte dite spéciale, on ramène toujours, dans le produit final, une partie des impuretés ou, si l'on veut, des éléments étrangers autres que le carbone que renferme toute fonte.

Si donc on veut obtenir de l'*acier pur*, comme on disait autrefois, ou de l'acier dont les propriétés caractéristiques seront principalement

dues au carbone, et c'est ce qu'il convient de dire aujourd'hui, on devra *recarburer avec le charbon proprement dit* ou avec des réactifs charbonneux purs. Mais, au lieu d'opérer sur un métal fondu, on agira sur un fer fabriqué, d'autre part, par un procédé quelconque d'élaboration et qu'on portera, sans l'amener à la fusion, à haute température.

C'est là le principe de la *cémentation*.

---

## CHAPITRE PREMIER

---

### THÉORIES RELATIVES A LA CÉMENTATION

La cémentation est la plus ancienne des méthodes indirectes de fabrication de l'acier : l'historique de ce procédé est peu connu.

#### I. MATIÈRES POUVANT CÉMENTER

On peut cémenter le fer de bien des manières.

La cémentation peut être produite, soit au moyen d'*hydrocarbures* tels que la vapeur de pétrole, d'un emploi assez commode au laboratoire, et elle est alors accompagnée d'un abondant dépôt de noir de fumée ; soit de *cyanures* très employés pour le durcissement superficiel des métaux ferreux ; soit de *carbures* variés ; soit de *charbons* ordinaires ou enfin de *carbone* à peu près pur.

Toutes les fois que le fer est chauffé au rouge, en présence de l'une quelconque de ces substances, il se carbure d'abord à la surface, puis graduellement sur une certaine épaisseur. La quantité de carbone maxima qu'il peut absorber paraît atteindre 1,75 %.

L'expérience de la cémentation pouvant se faire dans les laboratoires dans des conditions suffisamment rapprochées de celles de la cémentation industrielle, nombreux sont les essais qui ont été tentés pour découvrir le mécanisme de cet important phénomène.

Il ne semble pas toutefois que la lumière ait été faite d'une façon complète sur la manière dont se diffuse le carbone dans le fer chauffé à haute température et resté solide.

## II. EXPOSÉ DES THÉORIES

En 1836, Leplay et Laurent émettent l'hypothèse que la cémentation s'effectue par la vapeur de carbone; on doit reconnaître qu'une telle hypothèse se trouve en désaccord avec un grand nombre de faits observés depuis.

D'autres chimistes attribuent un rôle à l'azote qu'on trouve, en effet, en petite quantité dans

l'acier. Dans cet ordre d'idées, Frémy avait regardé ce métal comme un *azoto-carbure* ; mais Boussingault a montré que l'azote se rencontre aussi, et souvent en proportion plus grande, dans le fer et dans la fonte.

En 1860, le colonel Caron, reprenant une théorie de Gay-Lussac, affirma que les cyanures alcalins constituaient l'*agent indispensable* de la carburation. Mais ses expériences, sujettes à critique, sont, du reste, infirmées par des expériences récentes revêtues d'un plus grand caractère de précision.

Margueritte a prouvé que le carbone cimente le fer, sans l'intervention d'aucun autre gaz, en opérant dans des vases imperméables aux produits gazeux. On a donc été conduit à rejeter le fait de la volatilité du carbone admise par Laurent.

Quoique, concurremment avec le carbone, les gaz carburés puissent cimenter, les expériences de Boussingault, de Troost et Hautefeuille, démontrent que la part contributive à faire au charbon solide, dans le phénomène de la cémentation, doit être prépondérante.

Par tous ses caractères, la cémentation ressemble à une dissolution : la proportion du carbone, comme celle des corps dissous, s'arrête,

pour chaque température, à une limite définie, et le carbone, ainsi que les corps dissous, se diffuse peu à peu dans toute la masse.

Les observations faites dans les fours à cémenter industriels montrent, comme les expériences de laboratoire, que la cémentation exige le contact direct du fer et du charbon et qu'elle est indépendante des gaz engendrés dans les caisses. Cela ne veut pas dire que tous les autres ciments tels que les hydrocarbures, les cyanures ou les gaz carburés ne puissent cémenter. Ce qui paraît établi, c'est qu'aux hautes températures employées dans la cémentation ordinaire, lorsque le métal est en contact avec du charbon *qui arrive à lui fournir directement autant de carbone qu'il en peut pénétrer par diffusion*, la présence des autres ciments est inutile.

L'absorption du carbone par le fer dépend de la différence entre l'affinité du fer pour le carbone libre et celle pour le reste du ciment ; or, l'affinité du fer pour le carbone libre croît très-rapidement avec la température.

La cémentation par les gaz est possible sous la réserve faite ci-dessus ; mais il reste d'autres réserves à faire non moins importantes.

Un gaz qui cimente facilement la surface du métal pourra cependant ne pas agir profondément

parce qu'il laisse dans les pores du métal un résidu inerte qui empêche la pénétration d'une nouvelle quantité de gaz, résidu provenant de la séparation du carbone qui s'incorpore au métal pour le cémenter. La cémentation par les gaz dépendra, en outre, de la plus ou moins grande facilité avec laquelle ces gaz abandonneront leur carbone, soit de leur stabilité.

Ces considérations s'appliquent tout aussi bien aux ciments liquides et, en particulier, aux cyanures.

Il pourra même arriver, avec certains ciments plus ou moins complexes, que l'affinité du carbone pour d'autres corps en présence ou pour des corps résultant des décompositions dues à la cémentation soit, à un moment donné, plus grande que pour le fer.

La cémentation ne pourra plus se poursuivre.

C'est ce qui explique, par exemple, qu'un mélange d'oxyde de carbone et d'acide carbonique, neutre ou même cimentant à une certaine température, devienne oxydant à une température plus élevée (1).

---

(1) Voir pour plus de détails à ce sujet le mémoire intitulé : *Recherches sur la cémentation*, par F. MANNESMANN (Bulletin de la Société d'Encouragement de l'Industrie de Berlin, 1879).

Enfin, il y a lieu d'indiquer, pour clore ces considérations théoriques, les services qu'a rendus la métallographie microscopique pour établir la nature du constituant formé par le fer et le carbone dans le fer cémenté, les lois de sa répartition comme celles de sa formation ou de sa décomposition sous l'influence de certains agents. Nous renvoyons pour ce sujet spécial à l'étude qui en a été faite dans le volume de l'Encyclopédie intitulé *Travail des métaux dérivés du fer*.

---



## CHAPITRE II

---

### MISE EN ŒUVRE DES FERS CÉMENTÉS

Les barres de fer au bois ou de fer puddlé qui étaient primitivement unies et lisses sont, au sortir des caisses des fours de cémentation où elles se sont carburées au rouge vif pendant une période de 20 à 30 jours, couvertes d'ampoules à leur surface : de là le nom d'acier *poule* donné à ce métal brut.

Si ces ampoules sont trop grosses ou trop nombreuses, elles indiquent un fer mal soudé et trop scoriacé. L'expérience a prouvé qu'elles proviennent de fragments de scories emprisonnés dans la masse et ensuite brusquement réduits pendant la cémentation avec dégagement de produits gazeux. Pour les éviter, il faut employer du fer bien forgé ayant, par suite, le minimum de scories et une compacité suffisante pour résister à la pression des gaz.

## I. CLASSIFICATION DES PRODUITS

C'est uniquement sur l'expérience que les fabricants se guident pour régler la durée de la cémentation : opérant toujours sur les mêmes matières, ils arrivent à connaître, et la quantité, et la nature du ciment, et le temps nécessaire pour produire tel ou tel degré de carburation.

Mais, même provenant d'une opération déterminée, les barres d'acier *poule* sont loin d'être homogènes : la carburation, d'une part, s'est produite bien plus énergiquement à la surface que dans les parties centrales des barres et, d'autre part, dans une même barre il y a de grandes différences de carburation aux divers points de sa longueur.

Il faudra donc, dès que les barres seront sorties des caisses de cémentation, commencer par les briser en un certain nombre de morceaux de façon à pouvoir, par l'examen de la cassure, apprécier la teneur en carbone et classer le métal.

On forme ainsi des lots répartis en un certain nombre de numéros : en cours de classement, on mettra de côté les *fers touchés* reconnaissables à une pellicule ou liseré très-brillant de fer brûlé; on séparera aussi les *grains blancs* ou

barres présentant des grains de couleur blanc jaunâtre et qui sont l'indice d'un métal préalablement mal affiné ou encore fonteux.

D'une manière générale, et avec tous les produits intermédiaires, soit dans une même opération, soit dans des opérations différemment conduites, on pourra trouver, ou on trouvera, les quatre catégories suivantes de produits :

<i>Fer en barres.</i> . . . .	1 à 2	mill. de carb.
<i>Fer cimenté doux</i> . . . .	4 à 7	"
<i>Fer cimenté dur.</i> . . . .	10 à 12	"
<i>Fer cimenté très dur</i> . . . .	15	"

## II. HOMOGENÉITÉ DONNÉE A L'ACIER POULE PAR LE CORROYAGE

On peut appliquer au métal de chaque lot, le procédé d'épuration par *corroyage* déjà décrit au puddlage.

Avec les morceaux de fer cimenté qui ont environ 40 centimètres de longueur, on forme un paquet ou trousse qu'on maintient avec des cercles ou des ligatures en fer. Ce paquet est chauffé au rouge cerise très-clair, soudé au pilon ou au martinet et étiré ensuite sous forme de barre qui fournit l'*acier raffiné à une marque* ou *une fois corroyé*.

Si on veut accrottre encore l'homogénéité et

la compacité du métal, on brise en deux fragments la barre résultant du premier corroyage, on superpose les deux moitiés qu'on soude encore ensemble et qu'on étire de manière à obtenir une nouvelle barre semblable à la première. Ce sera de l'acier raffiné à deux marques ou deux fois corroyé et ainsi de suite.

En pratique, on ne va pas au delà de trois corroyages pour les raisons que nous avons déjà exposées à propos du corroyage des aciers ou fers puddlés.

On a dit aussi que le corroyage des aciers puddlés tendait de plus en plus à disparaître, on peut ajouter que celui des fers cémentés suit aussi une progression franchement décroissante, tout en étant encore conservé pour la fabrication de certains outils.

Le vrai raffinage des fers cémentés est obtenu par la fusion au creuset réalisée aujourd'hui par le chauffage Siemens.

### III. HOMOGENÉITÉ DONNÉE A L'ACIER POULE PAR LA FUSION AU CREUSET

C'est à Benjamin Huntsman, horloger de Doncaster, mécontent des aciers allemands peu homogènes qu'il employait dans son industrie,

qu'on est redevable du premier acier fondu au creuset (1770).

Cette fabrication n'apparut en France que vers 1816 ; cette année même, on put produire une quantité notable d'acier cimenté rendu homogène par sa fusion au creuset. La cimentation s'effectuait préalablement sur des fers au bois du Dauphiné et de l'Ariège ; puis les barres étaient classées et débitées en petits morceaux introduits dans les creusets avec quelques fondants appropriés ; les creusets étaient enfin chauffés par un four à reverbère à la houille spécialement aménagé cet effet.

Aujourd'hui, le chauffage Siemens a supplanté dans presque toutes les usines l'ancien chauffage avec grille.

Quoique spécialisée dans un nombre assez restreint d'usines, tant en France qu'à l'étranger, la fabrication de l'acier fondu au creuset occupe encore une place fort importante parmi les procédés d'élaboration dont le but est de donner des produits de choix.

a) *Notions générales sur la pratique du procédé.* — La méthode adoptée à l'origine et encore la plus importante pour l'obtention des produits supérieurs consiste à amener à la fusion des petits morceaux d'acier poule de du-

reté requise, sans addition ou avec addition d'un fondant approprié pour faire passer au laitier les quelques crasses ou oxydes apportés par le métal à fondre.

On ne tarda pas bientôt à étendre le procédé du creuset à la production des aciers de valeur moindre en utilisant un certain nombre de vieilles matières inférieures en qualité à celle des fers cémentés.

C'est ainsi qu'aux fers au bois soumis à la cémentation, fers purs, il est vrai, mais onéreux, on substitua des fers puddlés de diverses catégories et que même, au lieu d'employer uniquement l'acier poule, on ne craignit pas de le remplacer dans les creusets par des morceaux d'acier plus ou moins dur obtenu, du reste, par un procédé quelconque d'élaboration préalable.

On alla même encore plus loin dans cette voie en appliquant pour ainsi dire rigoureusement le principe indiqué par Réaumur pour la fabrication de l'acier ; le creuset ne constituait-il pas un vase clos dont l'atmosphère ne pouvait exercer aucune action oxydante sur les matières qu'on y avait chargées ? C'est ainsi que fut adoptée la méthode de *fonte et ferraille* consistant à fondre du fer puddlé, de l'acier ou un

mélange des deux en réglant la quantité du carbone total par une proportion judicieusement calculée d'une fonte de composition connue et réduite en petits fragments.

Selon la dureté de l'acier, la fusion du mélange peut se prolonger de quatre à huit heures. Quand le métal est prêt à être coulé, les couvercles du four Siemens recouvrant la sole sur laquelle reposent les creusets sont successivement enlevés ; des ouvriers équipés de vêtements en forte toile abon-

damment mouillés surplombent les ouvertures béantes et saisissent rapidement les creusets avec des tenailles spéciales. Le creuset

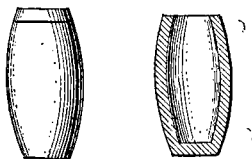


Fig. 17. — Creuset pour acier

rempli d'acier pèse environ 50 kilogrammes ; c'est là ce qu'on peut considérer comme un poids maximum maniable à bout de bras, par un homme exposé ainsi à une haute température.

Quand un creuset est défourné, le couvercle est enlevé, on *écume* le creuset en enlevant à l'aide d'un ringard en fer le peu de scorie visqueuse qui surnage ; puis, comme le métal liquide ne remplit plus qu'une partie de la capa-

cité du creuset, on verse son contenu dans le creuset voisin, soit pour diminuer le nombre des transports à la poche de coulée, soit pour rendre l'acier plus homogène s'il est destiné à être coulé dans de petites lingotières.

On laisse toujours l'acier au repos dans les creusets avant de le couler, car il laisse dégager une certaine quantité de gaz : l'acier devient alors *tranquille*, ce repos donné à l'acier pour le calmer a été appelé le *kill*ing de *to kill* : tuer.

Quand on veut couler des gros lingots au creuset, il faut que l'acier soit versé dans la lingotière d'une façon continue et que le métal contenu dans les différents creusets ait la même température. Cette deuxième condition est difficile à réaliser quand on verse successivement chaque creuset dans la lingotière, parce que la coulée peut alors durer assez longtemps. Aussi, commence-t-on par réunir généralement dans une poche de fonderie le contenu des creusets ; quelquefois même on les vide sur la sole d'un four à reverbère Siemens à atmosphère neutre et l'on procède ensuite à la coulée.

*b) Élaboration des aciers spéciaux.* — Les aciers spéciaux, quand on ne veut pas les obtenir en grande masse, s'élaborent surtout au creuset,



Le vrai procédé industriel pour les fabriquer consiste à fondre, soit avec de l'acier cémenté, soit avec de l'acier puddlé, des fontes spéciales qui apportent l'élément qu'on veut introduire.

Ce sera un *ferro-chrome* pour les aciers chromés, un *ferro-tungstène* ou simplement du *wolfram* (tungstate double de manganèse et de fer) pour les aciers au tungstène, du *nickel* pur à l'état de rondelles ou de cubes pour les aciers au nickel.

L'acier manganèse ne se prépare pas directement au creuset à cause de l'attaque rapide des parois par la scorie manganésifère ; on se contente de verser l'acier au carbone préparé à la nuance requise dans la poche de coulée où on aura préalablement placé la quantité de *ferro-manganèse* voulue.

Les fontes spéciales nécessaires à l'élaboration des aciers peuvent être fabriquées au haut-fourneau ; néanmoins les aciéries fabriquent très souvent au creuset ces métaux d'addition en y fondant des mélanges appropriés.

On charge, à cet effet, dans les creusets avec une certaine quantité d'une fonte connue, soit du *fer chromé* (minerai de chrome), soit du *wolfram*, soit de l'*oxyde de nickel* avec une certaine quantité de charbon de bois pour effectuer

la réduction et quelques fondants pour former le laitier. On obtient ainsi des ferro-tungstènes, des ferro-nickels, etc.

Récemment enfin, on a produit des aciers au molybdène qui présentent des propriétés analogues à celles de l'acier au tungstène ; on a pu les réaliser en ajoutant le molybdène à l'état d'alliage obtenu en réduisant par le carbone le *molybdate de chaux*.

c) *Économie du procédé au creuset*. — Le procédé du creuset est incomparablement plus coûteux que les procédés Bessemer et Martin-Siemens, tant au point de vue des matières premières qu'on y emploie qu'à celui du prix de leur transformation, de la main-d'œuvre, etc.

Mais, d'un autre côté, ses produits sont considérés et avec raison comme bien supérieurs à ceux des autres procédés, même à composition égale.

Le creuset étant un récipient fermé, on opère en quelque sorte en *vase clos* ; il n'y aura pas d'oxydation notable comme dans toutes les autres méthodes d'élaboration et, par suite, pas d'affinage proprement dit.

On trouvera fondues, en fin d'opération, toutes les matières du chargement initial, à une faible quantité de scories près, et *sans interposition d'oxyde de fer*.

Le prix de cet acier limite ses applications à la production des aciers de choix destinés aux *outils tranchants, aux ressorts, etc.*; cependant, on s'en sert aussi pour des fortes pièces telles qu'*arbres de transmission, pièces de machines, canons, frettes, etc.*, lorsque la qualité du métal est un facteur essentiel à assurer ou lorsque les aciéries ne disposent que de ce genre de fabrication.

Il ressort de ce qui précède qu'on ne saurait songer à refondre au creuset des matières phosphoreuses ou sulfureuses, sous peine de retrouver dans le produit final tout le phosphore et tout le soufre introduits.

Les aciers au creuset servent aussi pour les *moulages*; on sait que, grâce aux additions d'aluminium et aux hautes températures qu'on peut atteindre avec le chauffage Siemens, on a pu obtenir des pièces moulées ayant toute la malléabilité du fer.

I. — TABLEAU DES DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES OBTENUES DANS LES PRINCIPALES RÉACTIONS MÉTALLURGIQUES

Sources de chaleur		Températures	
1° Points de fusion	Fonte blanche de Suède . . . . .	1 135°	
	Fonte grise de moulage . . . . .	1 220	
	Acier	doux à 0,1 % de C . . . . .	1 475
		mi-dur à 0,3 % de C . . . . .	1 455
2° Haut fourneau marchant en fonte grise pour Bessemer	dur à 0,9 % de C . . . . .	1 410	
	Acier manganèse à 13 % de Mn . . . . .	1 260	
	Acier nickel à 25 % de nickel . . . . .	1 230	
	Ouvrage en face de la tuyère . . . . .	1 930	
3° Four à puddler rotatif	Coulée de la fonte } commencement . . . . .	1 400	
	} fin . . . . .	1 570	
	Coulée de la fonte } dans la poche . . . . .	1 340	
	} dans le four . . . . .	1 230	
	Loupe en fin d'opération . . . . .	1 330	

(Suite du Tableau I)

4 <sup>o</sup> Four Martin Siemens (acier mi-dur)	(a) Gaz des gazogènes	Sortie des gazogènes . . . . .	720
	(b) Récupérateur	Récupérateur { à l'entrée . . . . . à la sortie . . . . .	400 1 200
5 <sup>o</sup> Convertisseur Bessemer (6 tonnes)	(c) Four	Air sortant du récupérateur . . . . .	1 000
		Fumées allant à la cheminée . . . . .	300
	(d) Coulée de l'acier	Fin de la fusion de la fonte . . . . .	1 420
		Affinage de l'acier . . . . .	1 500
6 <sup>o</sup> Four Siemens à creusets pour acier	Intervalle des creusets.	Dans la poche { commencement . . . . . fin . . . . .	1 580 1 490
		Dans la lingotière . . . . .	1 520
6 <sup>o</sup> Four Siemens à creusets pour acier	Intervalle des creusets.	(a) Coulée de la scorie. . . . .	1 580
		(b) Coulée de l'acier { Dans la poche . . . . . Dans la lingotière . . . . .	1 640 1 580

Nota. — Les températures indiquées dans le tableau I ont été déterminées à l'aide du pyromètre thermo-électrique de M. Le Châtelier.

II. — TABLEAU DONNANT, POUR MÉMOIRE, QUELQUES TYPES DE COMPOSITIONS  
DE FONTES D'AFFINAGE ET DE FONTES SPÉCIALES  
1° Fontes ordinaires

Types de fontes	Carbone combiné	Graphite	Silicium	Manganèse	Soufre	Phosphore
Fonte blanche (à l'air froid) . . . . .	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
" (à l'air chaud). . . . .	3,27	0,00	0,30	0,02	"	"
" (au charbon de bois) . . . . .	3,12	traces	0,90	0,60	"	"
Fonte grise . . . . .	3,51	0,02	0,56	0,16	"	"
" . . . . .	0,75	2,80	1,82	0,23	"	"
" impure riche en silicium. . . . .	0,79	2,59	2,13	0,77	0,17	1,12

II (suite). — TABLEAU DONNANT, POUR MÉMOIRE, QUELQUES TYPES DE COMPOSITIONS  
DE FONTES D'AFFINAGE ET DE FONTES SPÉCIALES

2° Fontes spéciales

Types de fontes spéciales	Carbone combiné	Graphite	Silicium	Manganèse	Phosphore	Soufre	Chrome
	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Ferro-silicium . . . . .	0,69	1,12	9,80	1,95	0,21	0,04	"
Ferro-silicium . . . . .	0,11	3,12	4,58	0,62	1,9	0,01	"
Spiegeleisen à 20 0/0 . . . . .	4,90	"	0,20	20,60	0,08	"	"
" à 8 0/0 . . . . .	4,12	"	0,30	8,70	"	0,01	"
Ferro-manganèse à 83 0/0 . . . . .	6,50	"	0,80	83,40	0,25	"	"
Ferro-manganèse-silicium (ou silico-spiegel) . . . . .	3,127	"	6,105	28,55	"	"	"
Ferro-chrome . . . . .	5	"	0,25	0,4	"	"	7
Silico-ferro-chrome . . . . .	5	"	8	2,85	"	"	30

III. — TABLEAU DONNANT L’ORDRE D’ÉLIMINATION  
DES ÉLÉMENTS ÉTRANGERS DE LA FONTE DANS  
QUELQUES CAS D’AFFINAGE.

1<sup>o</sup> *Analyses effectuées en cours d’une opération  
de mazaéage.*

Prises d’essai	Carbone	Silicium
Fonte initiale . . . . .	3,886	1,255
Après fusion. . . . .	3,510	0,575
10’ après fusion . . . . .	3,707	0,478
20’ “ . . . . .	3,644	0,273
28’ “ . . . . .	3,544	0,154
Métal mazaé . . . . .	3,342	0,130

2<sup>o</sup> *Prises d’essai en cours d’une opération  
de puddlage*

Prises d’essai	Carbone	Silicium
Fonte initiale . . . . .	2,275	2,720
Prise d’essai au bout de 40’ . . . . .	2,726	0,197
“ 60’ . . . . .	2,905	0,194
“ 65’ . . . . .	2,444	0,182
“ 80’ . . . . .	2,305	0,182
“ 95’ . . . . .	1,647	0,183
“ 100’ . . . . .	1,206	0,163
“ 105’ . . . . .	0,963	0,163
“ 110’ . . . . .	0,772	0,168
Fer brut . . . . .	0,296	0,120



III (suite). — TABLEAU DONNANT L'ORDRE D'ÉLIMINATION DES ÉLÉMENTS ÉTRANGERS  
DE LA FONTE DANS QUELQUES CAS D'AFFINAGE

3° Analyses en cours d'une opération Bessemer-acide

Prises d'essai	Carbone	Silicium	Manganèse	Soufre	Phosphore
Fonte initiale . . . . .	3,57	2,26	0,04	0,107	0,073
Après 6 minutes de soufflage . . . . .	3,94	0,95	traces	0,098	0,070
" 12 "	1,64	0,47	"	0,098	0,070
Avant addition de spiegel . . . . .	0,19	traces	"	0,098	0,070
4° Analyses en cours d'une opération Martin-Siemens acide					
Bain liquide . . . . .	0,497	0,480	0,86	0,016	0,089
Huit heures après . . . . .	0,060	0,150	traces	0,020	0,09



## BIBLIOGRAPHIE

### I. MÉTALLURGIE GÉNÉRALE

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

## 168 ÉLABORATION DES MÉTAUX DÉRIVÉS DU FER, II

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

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

U. LE VERRIER. — *Cours de métallurgie professé à l'École des mines de Saint-Étienne* (Saint-Étienne, Chevalier, 1<sup>re</sup> partie, 1887, 3<sup>e</sup> partie, 1894).

### II. AGENTS METALLURGIQUES

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

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

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

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

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

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

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

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

### III. APPAREILS METALLURGIQUES

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

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

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

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

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

## IV. PROCÉDES D’AFFINAGE

1° Dans les *Annales des Mines*.

- THIRRIA. — *Mémoire sur les perfectionnements et modifications des procédés employés pour la fabrication du fer obtenu par l'affinage des fontes dans les foyers d'affinerie* (1840).
- LEPLAY. — *Mémoire sur le mode d'action du carbone dans la cémentation* (1841).
- *Mémoire sur la fabrication de l'acier dans le Yorkshire* (1843).
- *Mémoire sur la fabrication et le commerce des fers à acier dans le nord de l'Europe, etc.* (1846).
- GRUNER. — *Notes diverses concernant l'acier puddlé et l'acier de forge* (1859).
- *Affinage de la fonte par le procédé Bessemer* (1860).
- *Études métallurgiques* (1879).
- LAN. — *Étude sur les réactions de l'affinage des fontes pour acier ou pour fer* (1859).
- JANOYER. — *Mémoire sur la fabrication du fer à grains et de l'acier naturel au four à puddler* (1859).
- CASTEL. — *Fabrication de l'acier par le procédé Bessemer à l'usine de Grätz* (1865).
- DE BILLY. — *Note sur l'invention du procédé Bessemer pour la fabrication de l'acier* (1868).
- SNÉLUS. — *Sur la composition des gaz produits dans l'appareil Bessemer pendant l'opération* (traduit de l'anglais par M. Amiot) (1872).
- HENRY. — *Mémoire sur la fabrication du fer, de l'acier puddlé et de l'acier fondu au four rotatif Pernot* (1874).
- LEMUT. — *Nouveau four à puddler à air chaud* (1877).
- DELAFOND. — *Note sur la fabrication de l'acier au moyen de la fonte phosphoreuse au Creusot* (1882).
- ABRAHAM. — *Sur les aciers spéciaux* (1898).

2° Dans les *Annales de Physique et de Chimie*.

BOUSSINGAULT. — *Étude sur la transformation du fer en acier par la cémentation* (1875).

— *Sur la production, la constitution et les propriétés des aciers chromés* (1878).

TROOST et HAUTEFEUILLE. — *Recherches sur la dissolution des gaz dans le fer, l'acier, la fonte et le manganèse* (1876).

— *Étude calorimétrique sur les carbures, les siliciures de fer et de manganèse* (1876).

FRÉD. ABEL et DEERING. — *Note sur l'état du carbone dans l'acier pur* (1883).

3° Dans la *Revue universelle des Mines et de la Métallurgie* publiée à Liège.

TCHERNOFF. — *Documents sur la fabrication de l'acier Bessemer* (1877-1878).

TRASENSTER. — *Étude sur la déphosphoration* (1879-1880).

4° Dans le *Journal de l'Iron and Steel Institute*.

LOWTHIAN BELL. — *Sur la séparation du carbone, du silicium, du soufre et du phosphore dans le finage, le puddlage et l'opération Bessemer* (1878).

THOMAS et GILCHRIST. — *Déphosphoration au convertisseur* (1878).





# TABLE DES MATIÈRES

	Pages
NOTIONS PRÉLIMINAIRES . . . . .	5
I. Caractéristiques des réactions métallur- giques. . . . .	5
II. Matières constituant l'apport métallique .	8
III. Qu'est-ce que l'affinage ? . . . . .	13
IV. Aperçu général sur les procédés d'élabo- ration ou d'affinage . . . . .	20

## TITRE I

### MÉTAL ÉLABORÉ A L'ÉTAT PATEUX

#### CHAPITRE PREMIER

<i>Réactions du puddlage</i> . . . . .	27
I. Rôle chimique de la sole. . . . .	28
II. Réactions en cours d'opération . . . . .	30
III. Mode opératoire . . . . .	37

#### CHAPITRE II

<i>Comment on obtient le métal puddlé brut</i> . .	44
I. Ébauché de puddlage . . . . .	45
II. Classement des ébauchés . . . . .	47
III. Digression sur le corroyage. . . . .	49
IV. Conclusion sur le puddlage . . . . .	55

## TITRE II

MÉTAL ÉLABORÉ A L'ÉTAT LIQUIDE (BESSEMER ET  
MARTIN-SIEMENS)

	Pages
CHAPITRE PREMIER	
<i>Procédé Bessemer</i> . . . . .	60
<i>Bessemer acide</i> . . . . .	60
I. Théorie de l'opération . . . . .	63
II. Du réactif désoxydant . . . . .	67
III. Détermination du point d'arrêt. . . . .	70
<i>Bessemer basique ou procédé Thomas et     Gilchrist</i> . . . . .	73
I. Genèse de la découverte de la déphospho- ration . . . . .	73
II. Théorie de la déphosphoration. . . . .	77
CHAPITRE II	
<i>Procédé Martin-Siemens</i> . . . . .	86
I. Méthode par dilution du carbone ou <i>scrap-         process</i> . . . . .	87
II. Méthode au minerai ou <i>ore-process</i> . . . . .	90
III. Méthode des loupes . . . . .	92
IV. Marche en déphosphoration . . . . .	93
CHAPITRE III	
<i>Coulée du métal fondu</i> . . . . .	98
I. Procédés de coulée en lingots . . . . .	99
II. Moulages d'acier . . . . .	109

175

TABLE DES MATIÈRES

Pages

CHAPITRE IV

<i>Aciers spéciaux et procédés récents</i> . . . . .	117
I. Aciers spéciaux . . . . .	117
II. Procédés récents . . . . .	125

TITRE III

PROCÉDÉ DE LA CÉMENTATION

CHAPITRE PREMIER

<i>Théories relatives à la cémentation</i> . . . . .	143
I. Matières pouvant cémenter . . . . .	143
II. Exposé des théories. . . . .	144

CHAPITRE II

<i>Mise en œuvre des fers cémentés.</i> . . . . .	149
I. Classification des produits . . . . .	150
II. Homogénéité donnée à l'acier poule par le corroyage . . . . .	151
III. Homogénéité donnée à l'acier poule par la fusion au creuset. . . . .	152
TABLEAUX . . . . .	160
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	167

---

SAINT-AMAND (CHER). — IMPRIMERIE BUSSIÈRE

---

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS**

55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (6<sup>e</sup>).

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

# ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE.

## TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

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

PAR

**ALHEILIG,**

Ingénieur de la Marine.

**Camille ROCHE,**

Ancien Ingénieur de la Marine.

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

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

**TOME II :** Volants régulateurs. Classification des machines. Moteurs à gaz, à pétrole et à air chaud. Graissage, joints. Montage et essais. Passation des marchés. Prix de revient, d'exploitation et de construction ; IV-560 pages, avec 281 figures ; 1895. **18 fr.**

## CHEMINS DE FER

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION.

PAR

**E. DEHARME,**

Ing<sup>r</sup> principal à la Compagnie du Midi.

**A. PULIN,**

Ing<sup>r</sup> Insp<sup>r</sup> p<sup>al</sup> aux chemins de fer du Nord.

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

## CHEMINS DE FER.

ÉTUDE DE LA LOCOMOTIVE. — LA CHAUDIÈRE.

PAR

**E. DEHARME,**

Ing<sup>r</sup> principal à la Compagnie du Midi.

**A. PULIN,**

Ing<sup>r</sup> Insp<sup>r</sup> p<sup>al</sup> aux chemins de fer du Nord.

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

## VERRE ET VERRERIE

PAR

**Léon APPERT et Jules HENRIVAUX, Ingénieurs.**

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

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS**

---

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

**Par Lucien GESCHWIND, Ingénieur-Chimiste.**

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

---

## **COURS DE CHEMINS DE FER**

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

**Par C. BRICKA,**

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

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

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

---

## **COUVERTURE DES ÉDIFICES**

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

**Par J. DENFER,**

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

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

---

## **CHARPENTERIE MÉTALLIQUE**

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

**Par J. DENFER,**

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

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

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

---

## **TRAITÉ PRATIQUE**

DES

## **CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL**

ET DES

## **TRAMWAYS**

**Par Pierre GUÉDON,**

Ingénieur, Chef de traction à la C<sup>ie</sup> générale des Omnibus de Paris.

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

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

## ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par **Al. GOUILLY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

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

## BLANCHIMENT ET APPRÊTS TEINTURE ET IMPRESSION

PAR

**Ch.-Er. GUIGNET**,

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

**F. DOMMER**,

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

**E. GRANDMOUGIN**,

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

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

## CONSTRUCTION PRATIQUE des NAVIRES de GUERRE

Par **A. CRONEAU**,

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

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

TOME I : Plans et devis. — Matériaux. — Assemblages. — Différents types de na-  
vires. — Charpente. — Revêtement de la coque et des ponts. — Gr. in-8 de 379 pages  
avec 305 fig. et un Atlas de 11 pl. in-4° doubles, dont 2 en trois couleurs; 1894. 18 fr.

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

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

## FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX

Par **Ernest HENRY**,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

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

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

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

## TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES

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

Par **E. BOURRY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

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

---

## RÉSUMÉ DU COURS

DE

## MACHINES A VAPEUR ET LOCOMOTIVES

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Par **J. HIRSCH**,

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

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

---

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

Par **Henri DE LAPPARENT**,

Inspecteur général de l'Agriculture.

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

GR. IN-8 DE XII-533 P., AVEC 411 FIG. ET 28 CARTES; 1895 (E. I.) 12 FR.

---

## TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par **A. JOANNIS**,

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

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

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

---

## MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES CHEMINS VICINAUX,

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

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

TOME I; 1889; 20 fr. — TOME II: 1<sup>re</sup> partie; 1893; 10 fr. 2<sup>e</sup> partie; 1898; 10 fr.



LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

# MACHINES FRIGORIFIQUES

PRODUCTION ET APPLICATIONS DU FROID ARTIFICIEL,

Par **H. LORENZ**,

Ingénieur, Professeur à l'Université de Halle.

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

**P. PETIT**,

Prof<sup>r</sup> à la Faculté des Sciences de Nancy,  
Directeur de l'École de Brasserie.

**J. JAQUET**,

Ingénieur civil,

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

## COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **Maurice D'OCAGNE**,

Ing<sup>r</sup> et Prof<sup>r</sup> à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique.

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

LES ASSOCIATIONS OUVRIÈRES

## ET LES ASSOCIATIONS PATRONALES,

Par **P. HUBERT-VALLEROUX**,

Avocat à la Cour de Paris, Docteur en Droit.

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

## TRAITÉ DES FOURS A GAZ

A CHALEUR RÉGÉNÉRÉE.

DÉTERMINATION DE LEURS DIMENSIONS.

Par **Friedrich TOLDT**,

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

TRADUIT DE L'ALLEMAND SUR LA 2<sup>e</sup> ÉDITION REVUE ET DÉVELOPPÉE PAR L'AUTEUR,

Par **F. DOMMER**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

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

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

## ANALYSE INFINITÉSIMALE

A L'USAGE DES INGÉNIEURS,

Par **E. ROUCHÉ** et **L. LÉVY**,

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

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

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

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

PREMIERS PRINCIPES

# D'ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE

PILES, ACCUMULATEURS, DYNAMOS, TRANSFORMATEURS,

Par Paul JANET,

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

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

# COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par M. J. JAMIN.

QUATRIÈME ÉDITION, AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFOUNDUE

Par M. E. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

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

On vend séparément :

TOME I. — 9 fr.

- (\*) 1<sup>er</sup> fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec  
150 figures et 1 planche ..... 5 fr.  
2<sup>e</sup> fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

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

## LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

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

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

TOME IV (1<sup>re</sup> Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

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

TOME IV (2<sup>e</sup> Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

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

### TABLES GÉNÉRALES.

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

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

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

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

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

## LEÇONS

# D'ÉLECTROTECHNIQUE GÉNÉRALE

PROFESSÉES A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

Par P. JANET,

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

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

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS**

LEÇONS ÉLÉMENTAIRES

# D'ACOUSTIQUE ET D'OPTIQUE

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

Par **Ch. FABRY**,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Marseille.

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

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

# MÉTÉOROLOGIE

Par **Alfred ANGOT**,

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

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

RAPPORTS

PRÉSENTÉS AU

# CONGRÈS DE PHYSIQUE

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

Rassemblés et publiés par

**Ch.-Éd. GUILLAUME et L. POINCARÉ**,

Secrétaires généraux du Congrès.

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

On vend séparément :

TOME I : *Questions générales. Métrologie. Physique mécanique. Physique moléculaire*..... 18 fr.

TOME II : *Optique. Électricité. Magnétisme*..... 18 fr.

TOME III : *Électro-optique et ionisation. Applications. Physique cosmique. Physique biologique*..... 18 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

---

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

Par **P. DUPLAIS** Aîné,  
SEPTIÈME ÉDITION, ENTIÈREMENT REFOUDUE

PAR  
**Marcel ARPIN**,  
Chimiste industriel. | **Ernest PORTIER**,  
Répétiteur de Technologie agricole  
à l'Institut agronomique.

---

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

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

---

**LA TÉLÉGRAPHIE SANS FILS,**

Par **André BROCA**,  
Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine.

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

---

**TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE D'ÉLECTRICITÉ**  
AVEC LES PRINCIPALES APPLICATIONS,

Par **R. COLSON**,  
Commandant du Génie, Répétiteur de Physique à l'École Polytechnique.

3<sup>e</sup> édition entièrement refondue. In-18 jésus, avec 91 fig.; 1900. 3 fr. 75 c.

---

**DE PARIS AUX MINES D'OR**  
DE L'AUSTRALIE OCCIDENTALE,

Par **O. CHEMIN**,  
Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Volume in-8 de 370 pages, avec 116 figures dont 111 photogravures, 7 cartes  
et 2 planches; 1900..... 6 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

# LECONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE MONTEFIORE  
annexé à l'Université de Liège,

Par **Eric GÉRARD**,  
Directeur de cet Institut.

6<sup>e</sup> ÉDITION, DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : *Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs et des transformateurs électriques; avec 388 figures; 1900*..... 12 fr.

TOME II : *Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Applications de l'Électricité à la téléphonie, à la télégraphie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage, à la métallurgie et à la chimie industrielle; avec 387 figures; 1900*..... 12 fr.

---

## TRACTION ÉLECTRIQUE,

Par **Éric GÉRARD**,

(Extrait des *Leçons sur l'Électricité* du même Auteur.)

Volume grand in-8 de vi-136 pages, avec 92 figures; 1900..... 3 fr. 50 c.

---

## MESURES ÉLECTRIQUES,

Par **Éric GÉRARD**,

2<sup>e</sup> édition, gr. in-8 de 532 p., avec 217 fig.; 1901. Cartonné toile anglaise.... 12 fr.

---

## LES DÉCHARGES ÉLECTRIQUES DANS LES GAZ,

Par **J.-J. THOMSON**, D. Sc. F. R. S.

OUVRAGE TRADUIT DE L'ANGLAIS, AVEC DES NOTES; PAR LOUIS BARBILLION,  
ET UNE PRÉFACE DE CH. ED. GUILLAUME.

Volume in-8 de xiv-172 pages, avec 41 figures; 1900..... 5 fr.

---

## TRAITÉ DE MAGNÉTISME TERRESTRE,

Par **E. MASCART**,  
Membre de l'Institut.

Volume grand in-8 de vi-441 pages, avec 94 figures; 1900..... 15 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

# LECONS D'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

à l'usage des Élèves de Mathématiques spéciales,

Par **E. WALLON**,

Ancien Élève de l'École Normale supérieure,  
Professeur au Lycée Janson de Sailly.

Un volume grand in-8, avec 169 figures; 1900 ..... 9 fr.

## LEÇONS SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS

EXPOSÉ DES ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES ENSEMBLES  
AVEC DES APPLICATIONS A LA THÉORIE DES FONCTIONS,

Par **Émile BOREL**,

Maitre de Conférences à l'École Normale supérieure.

Un volume grand in-8; 1898 ..... 3 fr. 50 c.

## LEÇONS SUR LES FONCTIONS ENTIÈRES,

NOUVELLES LEÇONS SUR LA THÉORIE DES FONCTIONS.

Par **Émile BOREL**,

Maitre de Conférences à l'École Normale supérieure.

Un volume grand in-8; 1900 ..... 3 fr. 50 c.

## ÉLÉMENTS DE LA THÉORIE DES NOMBRES

*Congruences. Formes quadratiques. Nombres incommensurables.  
Questions diverses.*

Par **E. CAHEN**,

Ancien Élève de l'École Normale supérieure,  
Professeur de mathématiques spéciales au Collège Rollin.

UN VOLUME GRAND IN-8 DE VIII-403 PAGES; 1900 ..... 12 FR.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

THÉORIE  
DES  
FONCTIONS ALGÈBRIQUES  
DE DEUX VARIABLES INDÉPENDANTES,

PAR  
Émile PICARD,  
Membre de l'Institut,  
Professeur à l'Université de Paris.

SIMART,  
Capitaine de Frégate,  
Répétiteur à l'École Polytechnique.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I. Volume de vi-256 pages, avec figures; 1897..... 9 fr.  
TOME II. (4<sup>o</sup> fascicule 206 p.) Prix du volume complet pour les souscripteurs;  
1900..... 14 fr.

LEÇONS  
SUR LA  
THÉORIE DES FORMES  
ET LA GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE SUPÉRIEURE,  
*à l'usage des Étudiants des Facultés des Sciences,*

Par H. ANDOYER,  
Maître de Conférences à l'École Normale supérieure.

DEUX BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

TOME I : Volume de vi-508 pages; 1900..... 15 fr.  
TOME II..... (*En préparation.*)

RECUEIL DE PROBLÈMES  
DE  
GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE

A L'USAGE DES ÉLÈVES DE MATHÉMATIQUES SPÉCIALES  
SOLUTIONS DES PROBLÈMES DONNÉS AU CONCOURS D'ADMISSION A L'ÉCOLE  
POLYTECHNIQUE DE 1860 à 1900.

Par F. MICHEL,  
Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Volume in-8 de vi-240 pages, avec 70 figures; 1900..... 6 fr.



LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ

DE

MÉCANIQUE RATIONNELLE

Par P. APPELL,

Membre de l'Institut,  
Professeur à la Faculté des Sciences.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- TOME I : *Statique, Dynamique du point*, avec 178 figures ; 1893..... 16 fr.  
TOME II : *Dynamique des systèmes. Mécanique analytique*, avec fig. ; 1896. 16 fr.  
TOME III : *Équilibre et mouvement des milieux continus* (Un fascicule de 224 pages  
a paru). Prix du volume complet pour les souscripteurs..... 15 fr.

LEÇONS NOUVELLES

D'ANALYSE INFINITÉSIMALE

ET SES APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES.

Par Ch. MÉRAY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

Ouvrage honoré d'une souscription du Ministère de l'Instruction publique.

4 VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- I<sup>re</sup> PARTIE : Principes généraux ; 1894 ..... 13 fr.  
II<sup>e</sup> PARTIE : Étude monographique des principales fonctions d'une variable ;  
1895..... 14 fr.  
III<sup>e</sup> PARTIE : Questions analytiques classiques ; 1897.. 6 fr.  
IV<sup>e</sup> PARTIE : Applications géométriques classiques ; 1898 ..... 7 fr.

TRAITÉ D'ASTRONOMIE STELLAIRE

Par CH. ANDRÉ,

Directeur de l'Observatoire de Lyon, Professeur d'Astronomie  
à l'Université de Lyon.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT :

- I<sup>re</sup> PARTIE : Étoiles simples, avec 29 figures et 2 planches ; 1899..... 9 fr.  
II<sup>e</sup> PARTIE : Étoiles doubles et multiples. Amas stellaires, avec 74 figures et 3 planches ;  
1900..... 14 fr.  
III<sup>e</sup> PARTIE : Photométrie, Photographie. Spectroscopie..... (Sous presse.)

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

# BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la Science, de l'Art et des applications pratiques.

A côté d'Ouvrages d'une certaine étendue, comme le *Traité* de M. Davanne, le *Traité encyclopédique* de M. Fabre, le *Dictionnaire de Chimie photographique* de M. Fourtier, la *Photographie médicale* de M. Londe, etc., elle comprend une série de monographies nécessaires à celui qui veut étudier à fond un procédé et apprendre les tours de main indispensables pour le mettre en pratique. Elle s'adresse donc aussi bien à l'amateur qu'au professionnel, au savant qu'au praticien.

## MANUEL PRATIQUE DE PHOTOGRAPHIE AU CHARBON,

Par E. BELIN.

Un volume in-18 jésus, avec figures; 1900..... 2 fr.

## REPRODUCTION DES GRAVURES, DESSINS, PLANS, MANUSCRITS,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec figures; 1900..... 2 fr.

## LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THEORIQUE ET PRATIQUE,

Par A. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens... 32 fr.  
Chaque volume se vend séparément..... 16 fr.

## PRINCIPES ET PRATIQUE D'ART EN PHOTOGRAPHIE,

LE PAYSAGE,

Par Frédéric DILLAYE.

Un volume in-8 avec 32 figures et 34 photogravures de paysages; 1899. 5 fr.

## FORMULES, RECETTES ET TABLES POUR LA PHOTOGRAPHIE ET LES PROCÉDÉS DE REPRODUCTION,

Par le Dr J.-M. EDER.

Édition revue par l'auteur et traduite de l'allemand,  
Par G. BRAUN fils.

Un volume in-18 jésus de 185 pages; 1900..... 4 fr.

**LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS**

**TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,**

Par C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.  
Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1<sup>er</sup> Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892 14 fr.

2<sup>e</sup> Supplément (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. 14 fr.

Les 6 volumes se vendent ensemble..... 72 fr.

**LA PHOTOTYPIC POUR TOUS**

ET SES APPLICATIONS DIRECTES

AUX TIRAGES LITHOGRAPHIQUES ET TYPOGRAPHIQUES.

Par L. LAYNAUD.

Un volume in-18 jésus, avec figures; 1900..... 2 fr.

**L'OBJECTIF PHOTOGRAPHIQUE,**

ÉTUDE PRATIQUE. EXAMEN. ESSAI. CHOIX ET MODE D'EMPLOI.

Par P. MOËSSARD,

Lieutenant-Colonel du Génie,  
Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Un volume grand in-8, avec 116 figures et 1 planche; 1899..... 6 fr. 50 c.

**MANUEL DU PHOTOGRAPHE AMATEUR,**

Par F. PANAJOU,

Chef du Service photographique à la Faculté de Médecine  
de Bordeaux.

3<sup>e</sup> ÉDITION COMPLÈTEMENT REFONDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

Petit in-8, avec 63 figures; 1899..... 2 fr. 75 c.

**LA PHOTOGRAPHIE ANIMÉE,**

Par E. TRUTAT.

Avec une Préface de M. MAREY.

Un volume grand in-8, avec 146 figures et 1 planche; 1899... 5 fr.

**ESTHÉTIQUE DE LA PHOTOGRAPHIE,**

Un volume de grand luxe in-4 raisin, avec 14 planches et 150 figures. 16 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS

TRAITÉ PRATIQUE  
DES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES  
A L'USAGE DES AMATEURS,

Par E. TRUTAT.

2<sup>e</sup> édition, revue et augmentée. 2 vol. in-18 jésus..... 5 fr.

*On vend séparément :*

I<sup>re</sup> PARTIE : *Obtention des petits clichés*, avec 81 figures; 1900.... 2 fr. 75 c.

II<sup>e</sup> PARTIE : *Agrandissements*, avec 60 figures; 1897.... 2 fr. 75 c.

TRAITÉ PRATIQUE  
DE PHOTOGRAVURE EN RELIEF ET EN CREUX,

Par Léon VIDAL.

In-18 jésus de xiv-445 p. avec 65 figures et 6 planches; 1900 .... 6 fr. 50 c.

---

ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR DE LA PHOTOGRAPHIE.

CONFÉRENCES FAITES A LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHOTOGRAPHIE  
EN 1899.

Brochures in-8; 1899. — *On vend séparément :*

**LA PHOTOCOLLOGRAPHIE**, par G. BALAGNY..... 1 fr. 25 c.

**LA PHOTOGRAPHIE STÉRÉOSCOPIQUE**, par R. COLSON.. 1 fr.

**CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE PORTRAIT EN PHOTOGRAPHIE**, par Frédéric DILLAYE..... 1 fr. 25 c.

**LA MÉTROPHOTOGRAPHIE**, avec 17 figures et 2 planches, par le Colonel A. LAUSSEDAT..... 2 fr. 75 c.

**LA RADIOGRAPHIE ET SES DIVERSES APPLICATIONS**, avec 29 figures, par Albert LONDE..... 1 fr. 50 c.

**LA CHRONOPHOTOGRAPHIE**, avec 23 fig., par MAREY. 1 fr. 50 c.

**LA PHOTOGRAPHIE EN BALLON ET LA TÉLÉPHOTOGRAPHIE**, avec 19 figures, par H. MEYER-HEINE..... 1 fr. 50 c.

**LA MICROPHOTOGRAPHIE**, avec 3 planches en couleur, par MONPILLARD..... 2 fr. 50 c.

**SUR LES PROGRÈS RÉCENTS ACCOMPLIS AVEC L'AIDE DE LA PHOTOGRAPHIE DANS L'ÉTUDE DU CIEL**; avec 2 planches, par P. PUISEUX..... 2 fr.

**LA PHOTOGRAPHIE DES MONTAGNES**, à l'usage des alpinistes, avec 19 figures, par J. VALLOT..... 1 fr. 75 c.

**LES PROGRÈS DE LA PHOTOGRAVURE**, avec 21 figures et 2 planches, par Léon VIDAL..... 1 fr. 75 c.

**LE RÔLE DES DIVERSES RADIATIONS EN PHOTOGRAPHIE**, avec 8 figures, par P. VILLARD..... 1 fr.

**LES AGRANDISSEMENTS**, avec fig., par E. WALLON. 1 fr. 75 c.

---

29546. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

MASSON & C<sup>o</sup>, Éditeurs

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain, Paris

P. n<sup>o</sup> 216.

EXTRAIT DU CATALOGUE

(Décembre 1900)

# La Pratique Dermatologique

Traité de Dermatologie appliquée

Publié sous la direction de MM.

ERNEST BESNIER, L. BROCCQ, L. JACQUET

Par MM. AUDRY, BALZER, BARBE, BAROZZI, BARTHÉLEMY, BENARD, ERNEST BESNIER, BODIN, BROCCQ, DE BRUN, DU CASTEL, J. DARIER, DEHU, DOMINICI, W. DUBREUILH, HUDELO, L. JACQUET, J.-B. LAFFITTE, LENGLET, LEREDDE, MERKLEN, PERRIN, RAYNAUD, RIST, SABOURAUD, MARCEL SÉE, GEORGES THIBIERGE, VEYRIÈRES.

4 volumes richement cartonnés toile formant ensemble environ 3600 pages, très largement illustrés de figures en noir et de planches en couleurs. En souscription jusqu'à la publication du Tome II. 140 fr.

Les volumes paraîtront à des intervalles assez rapprochés pour que l'ouvrage soit complet à la fin de l'année 1901.

Chaque volume sera vendu séparément.

## TOME PREMIER

1 fort vol. in-8<sup>o</sup> avec 230 figures en noir et 24 planches en couleurs.

Richement cartonné toile. . . 36 fr.

Anatomie et Physiologie de la Peau. — Pathologie générale de la Peau. — Symptomatologie générale des Dermatoses. — Acanthosis Nigricans. — Acnés. — Actinomycose. — Adénomes. — Alopecies. — Anesthésie locale. — Balanites. — Bouton d'Orient. — Brûlures. — Charbon. — Classifications dermatologiques. — Dermatitis polymorphes douloureuses. — Dermatophytes. — Dermatozoaires. — Dermites infantiles simples. — Ecthyma.

Sous presse : Tome II contenant les articles : *Necéma*, par ERNEST BESNIER. — *Electricité*, par BROCCQ. — *Electrolyse*, par BROCCQ. — *Eléphantiasis*, par DOMINICI. — *Eosinophilie*, par LEREDDE. — *Epithélioma*, par DARIER. — *Eruptions artificielles*, par THIBIERGE. — *Erythème*, par BODIN. — *Erythrodermie*, par BROCCQ. — *Favus*, par BODIN. — *Folliculites*, par HUDELO. — *Furonculose*, par BAROZZI. — *Gale*, par DUBREUILH. — *Grefse*, par BAROZZI. — *Herpès*, par DU CASTEL. — *Ichtyose*, par THIBIERGE. — *Impétigo*, par SABOURAUD. — *Kératodermie*, par DUBREUILH. — *Kératose pilaire*, par VEYRIÈRES. — *Langue*, par BÉNARD. — *Lèpre*, par MARCEL SÉE. — *Leucokératose*, par BÉNARD. — *Lichens*, par BROCCQ.

# Traité de Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

**Simon DUPLAY**

Professeur à la Faculté de médecine  
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu  
Membre de l'Académie de médecine

**Paul RECLUS**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine  
Chirurgien des hôpitaux  
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

BERGER, BROCA, PIERRE DELBET, DELENS, DEMOULIN, J.-L. FAURE FORGUE, GÉRARD MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER, KIRMISSON, LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT PONCET, QUÉNU, RICARD, RIEFFEL, SEGOND, TUFFIER, WALTHER

Ouvrage complet

**DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE**

8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte. . . . . 150 fr.

**TOME I. — 1 vol. grand in-8° de 912 pages avec 218 figures 18 fr.**

RECLUS. — Inflammations, traumatismes, maladies virulentes.

BROCA. — Peau et tissu cellulaire sous-cutané.

QUÉNU. — Des tumeurs.

LEJARS. — Lymphatiques, muscles, synoviales tendineuses et bourses séreuses.

**TOME II. — 1 vol. grand in-8° de 996 pages avec 361 figures 18 fr.**

LEJARS. — Nerfs.

MICHAUX. — Artères.

QUÉNU. — Maladies des veines.

RICARD et DEMOULIN. — Lésions traumatiques des os.

PONCET. — Affections non traumatiques des os.

**TOME III. — 1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures 18 fr.**

NÉLATON. — Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires.

QUÉNU. — Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires.

LAGRANGE. — Arthrites infectieuses et inflammatoires.

GERARD MARCHANT. — Crâne.

KIRMISSON. — Rachis.

S. DUPLAY. — Oreilles et annexes.

**TOME IV. — 1 vol. grand in-8° de 896 pages avec 354 figures 18 fr.**

DELENS. — L'œil et ses annexes.

GERARD MARCHANT. — Nez, fosses

nasales, pharynx nasal et sinus.

HEYDENREICH. — Mâchoires.

**TOME V. — 1 vol. grand in-8° de 948 pages avec 187 figures 20 fr.**

BROCA. — Face et cou. Lèvres, cavité buccale, gencives, palais, langue, larynx, corps thyroïde.

HARTMANN. — Planchor buccal, glandes

des salivaires, œsophage et pharynx.

WALTHER. — Maladies du cou.

PEYROT. — Poitrine.

PIERRE DELBET. — Mamelle.

**TOME VI. — 1 vol. grand in-8° de 1127 pages avec 218 figures 20 fr.**

MICHAUX. — Parois de l'abdomen.

BERGER. — Hernies.

JALAGUIER. — Contusions et plaies de l'abdomen, lésions traumatiques et corps étrangers de l'estomac et de l'intestin. Occlusion intestinale, péritonites, appendicite.

HARTMANN. — Estomac.

FAURE et RIEFFEL. — Rectum et anus.

HARTMANN et GOSSET. — Anus contre nature. Fistules stercorales.

QUÉNU. — Mésentère. Rate. Pancréas.

SEGOND. — Foie.

**TOME VII. 1 fort vol. gr. in-8° de 1272 pages, 297 fig. dans le texte 25 fr.**

WALTHER. — Bassin.

FORGUE. — Urètre et prostate.

RECLUS. — Organes génitaux de l'homme.

RIEFFEL. — Affections congénitales de la région sacro-coccygienne.

TUFFIER. — Rein. Vessie. Urètres.

Capcules surrénales.

**TOME VIII. 1 fort vol. gr. in-8° de 971 pages, 163 fig. dans le texte 20 fr.**

MICHAUX. — Vulve et vagin.

PIERRE DELBET. — Maladies de l'utérus.

SEGOND. — Annexes de l'utérus,

ovaires, trompes, ligaments larges, péritoine pelvien.

KIRMISSON. — Maladies des membres.

# Traité de Pathologie générale

Publié par **Ch. BOUCHARD**

Membre de l'Institut

Professeur de pathologie générale à la Faculté de Médecine de Paris.

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : **G.-H. ROGER**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, Médecin des hôpitaux.

6 volumes grand in-8°, avec figures dans le texte.

Prix en souscription jusqu'à la publication du t. V. 412 fr.

## TOME I

1 vol. grand in-8° de 1018 pages avec figures dans le texte : 48 fr.

Introduction à l'étude de la pathologie générale, par G.-H. ROGER. — Pathologie comparée de l'homme et des animaux, par G.-H. ROGER et P.-J. CADOT. — Considérations générales sur les maladies des végétaux, par P. VUILLEMIN. — Pathologie générale de l'embryon. Tératogénie, par MATHIAS DUVAL. — L'hérédité et la pathologie générale, par LE GENDRE. — Prédilection et immunité, par BOURCY. — La fatigue et le surmenage, par MARFAN. — Les Agents mécaniques, par LEJARS. — Les Agents physiques. Chaleur. Froid. Lumière. Pression atmosphérique. Son, par LE NOIR. — Les Agents physiques. L'énergie électrique et la matière vivante, par D'ARSONVAL. — Les Agents chimiques : les caustiques, par LE NOIR. — Les intoxications, par G.-H. ROGER.

## TOME II

1 vol. grand in-8° de 940 pages avec figures dans le texte : 48 fr.

L'infection, par CHARRIN. — Notions générales de morphologie bactériologique, par GUIGNARD. — Notions de chimie bactériologique, par HUGOUNENQ. — Les microbes pathogènes, par ROUX. — Le sol, l'eau et l'air, agents des maladies infectieuses, par CHANTEMESSR. — Des maladies épidémiques, par LAVERAN. — Sur les parasites des tumeurs épithéliales malignes, par RUFFER. — Les parasites, par R. BLANCHARD.

## TOME III

1 vol. in-8° de plus de 1400 pages, avec figures dans le texte, publié en deux fascicules : 28 fr.

Fasc. I. — Notions générales sur la nutrition à l'état normal, par E. LAMBLING. — Les troubles préalables de la nutrition, par CH. BOUCHARD. — Les réactions nerveuses, par CH. BOUCHARD et G.-H. ROGER. — Les processus pathogéniques de deuxième ordre, par G.-H. ROGER.

Fasc. II. — Considérations préliminaires sur la physiologie et l'anatomie pathologiques, par G.-H. ROGER. — De la fièvre, par LOUIS GUINON. — L'hypothermie, par J.-F. GUYON. — Mécanisme physiologique des troubles vasculaires, par E. GLEY. — Les désordres de la circulation dans les maladies, par A. CHARRIN. — Thrombose et embolie, par A. MAYOR. — De l'inflammation, par J. COURMONT. — Anatomie pathologique générale des lésions inflammatoires, par M. LETULLE. — Les altérations anatomiques non inflammatoires, par P. LE NOIR. — Les tumeurs, par P. MENETRIER.

## TOME IV

1 vol. in-8° de 719 pages avec figures dans le texte : 46 fr.

Evolution des maladies, par DUCAMP. — Sémiologie du sang, par A. GILBERT. — Spectroscopie du sang. Sémiologie, par A. HEXOCQUE. — Sémiologie du cœur et des vaisseaux, par R. TRIPIER. — Sémiologie du nez et du pharynx nasal, par M. LERMOYEZ et M. BOULAY. Sémiologie du larynx, par M. LERMOYEZ et M. BOULAY. — Sémiologie des voies respiratoires, par M. LEBRETON. — Sémiologie générale du tube digestif, par P. LE GENDRE.

Vient de paraître

## TOME V

1 fort vol. in-8° de 1180 pages avec nomb. figures dans le texte : 28 fr.

Sémiologie du foie, par CHAUFFARD. — Pancréas, par X. ARNOZAN. — Analyse chimique des urines, par C. CHABRIÉ. — Analyse microscopique des urines (Histo-bactériologique), par NOEL HALLÉ. — Le rein, l'urine et l'organisme, par A. CHARRIN. — Sémiologie des organes génitaux, par PIERRE DELBET. — Sémiologie du système nerveux, par J. DEJERINE.

## CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD

BABINSKI, BALLRT, P. BLOCC, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD, L. GUINON, G. GUINON, HALLION, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, CÉTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUVAULT, SOUQUES, THIBERGE, THOINOT, FERNAND WIDAL.

# Traité de Médecine

## DEUXIÈME ÉDITION

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

### BOUCHARD

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,  
Membre de l'Institut.

### BRISSAUD

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,  
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

10 volumes grand in-8°, avec figures dans le texte.

En souscription. . . . . 150 fr.

### TOME I<sup>er</sup>

1 vol. gr. in-8° de 845 pages, avec figures dans le texte. 16 fr.

**Les Bactéries**, par L. GUIGNARD, membre de l'Institut et de l'Académie de médecine, professeur à l'École de Pharmacie de Paris. — **Pathologie générale infectieuse**, par A. CHARRIN, professeur remplaçant au Collège de France, directeur du laboratoire de médecine expérimentale, médecin des hôpitaux. — **Troubles et maladies de la Nutrition**, par PAUL LE GENDRE, médecin de l'hôpital Tenon. — **Maladies infectieuses communes à l'homme et aux animaux**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin de l'hôpital de la Porte-d'Aubervilliers.

### TOME II

1 vol. grand in-8° de 894 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

**Fièvre typhoïde**, par A. CHANTEMESSE, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies infectieuses**, par F. WIDAL, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Typhus exanthématique**, par L.-H. THOINOT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Fièvres éruptives**, par L. GUINON, médecin des hôpitaux de Paris. — **Erysipèle**, par E. BOIX, chef de laboratoire à la Faculté. — **Diphthérie**, par A. RUVAULT. — **Rhumatisme**, par CÉTINGER, médecin des hôpitaux de Paris. — **Scorbut**, par TOLLEMER, ancien interne des hôpitaux.

### TOME III

1 vol. grand in-8° de 702 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

**Maladies cutanées**, par G. THIBERGE, médecin de l'hôpital de la Pitié. — **Maladies vénériennes**, par G. THIBERGE. — **Maladies du sang**, par A. GILBERT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. — **Intoxications**, par A. RICHARDIÈRE, médecin des hôpitaux de Paris.

### TOME IV

1 vol. grand in-8° de 680 pages avec figures dans le texte. 16 fr.

**Maladies de la bouche et du pharynx**, par A. RUVAULT. — **Maladies de l'estomac**, par A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral. — **Maladies du pancréas**, par A. MATHIEU. — **Maladies de l'intestin**, par COURTOIS-SUFFIT, médecin des hôpitaux. — **Maladies du péritoine**, par COURTOIS-SUFFIT.

### TOME VI

1 vol. grand in-8° de 612 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

**Maladies du nez et du larynx**, par A. RUVAULT. — **Asthme**, par E. BRISAUD, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Saint-



Antoine. — **Coqueluche**, par P. LE GENDRE, médecin des hôpitaux. — **Maladies des bronches**, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Troubles de la circulation pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies aiguës du poumon**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux.

**TOME VII**

1 vol. grand in-8° de 550 pages avec figures dans le texte. 14 fr.

**Maladies chroniques du poumon**, par A.-B. MARFAN, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Phtisie pulmonaire**, par A.-B. MARFAN. — **Maladies de la plèvre**, par NETTER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux. — **Maladies du médiastin**, par A.-B. MARFAN.

*Le tome V sera publié ultérieurement.*

**TRAITÉ DE PHYSIOLOGIE**

PAR

**J.-P. MORAT**

Professeur à l'Université de Lyon.

**Maurice DOYON**

Professeur agrégé  
à la Faculté de médecine de Lyon

5 vol. gr. in-8° avec figures en noir et en couleurs.

En souscription . . . . . 50 fr.

- I. — **Fonctions de nutrition** : Circulation, par M. DOYON; Calorification, par P. MORAT. 1 vol. gr. in-8° avec 173 figures en noir et en couleurs. 12 fr.  
 II. — **Fonctions de nutrition (suite et fin)** : Respiration, excrétion, par J.-P. MORAT; Digestion, Absorption, par M. DOYON. 1 vol. gr. in-8°, avec 167 figures en noir et en couleurs. . . . . 12 fr.

**LES MÉDICAMENTS CHIMIQUES**

Par **Léon PRUNIER**

Pharmacien en chef des Hôpitaux de Paris,  
Professeur de pharmacie chimique à l'École de Pharmacie,  
Membre de l'Académie de Médecine.

2 volumes grand in-8° avec figures dans le texte . . . . 30 fr.

*Chaque volume est vendu séparément.*

Traité des

**Maladies de l'Enfance**

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

**J. GRANCHER**

Professeur à la Faculté de médecine de Paris,  
Membre de l'Académie de médecine, médecin de l'hôpital des Enfants-Malades.

**J. COMBY**

Médecin  
de l'hôpital des Enfants-Malades.

**A.-B. MARFAN**

Agrégé,  
Médecin des hôpitaux.

5 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. . 90 fr.

CHAQUE VOLUME EST VENDU SÉPARÉMENT

# Traité d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

**P. POIRIER**

Professeur agrégé  
à la Faculté de Médecine de Paris  
Chirurgien des Hôpitaux.

**A. CHARPY**

Professeur d'anatomie  
à la Faculté de Médecine  
de Toulouse.

AVEC LA COLLABORATION DE

O. Amoëdo. — A. Branca. — B. Cunéo. — P. Fredet. — P. Jacques.  
Th. Jonnesco. — E. Laguesse. — L. Manouvrier. — A. Nicolaï.  
M. Picou. — A. Prenant. — H. Rieffel. — Ch. Simon. — A. Soulié.

5 volumes grand in-8°. *En souscription* : 150 fr.  
*Chaque volume est illustré de nombreuses figures, la plupart tirées en  
plusieurs couleurs d'après les dessins originaux de*  
MM. Ed. CUYER et A. LEUBA.

## ÉTAT DE LA PUBLICATION AU 1<sup>er</sup> DÉCEMBRE 1900

### TOME PREMIER

**Embryologie; Ostéologie; Arthrologie.** (*Deuxième édition revue et  
augmentée*). Un volume grand in-8° avec 807 figures en noir et en  
couleurs . . . . . 20 fr.

### TOME DEUXIÈME

- 1<sup>er</sup> Fascicule : **Myologie.** (*Deuxième édition revue et augmentée*).  
Un volume grand in-8° avec 331 figures . . . . . 12 fr.  
2<sup>o</sup> Fascicule : **Angéiologie (Cœur et Artères).** Un volume grand  
in-8° avec 145 figures en noir et en couleurs . . . . . 8 fr.  
3<sup>o</sup> Fascicule : **Angéiologie (Capillaires, Veines).** Un volume grand  
in-8° avec 75 figures en noir et en couleurs . . . . . 6 fr.

### TOME TROISIÈME

(*Volume complet.*)

- 1<sup>er</sup> Fascicule : **Système nerveux (Méninges, Moelle, Encéphale).**  
1 vol. grand in-8° avec 201 figures en noir et en couleurs . . 10 fr.  
2<sup>o</sup> Fascicule : **Système nerveux (Encéphale).** Un vol. grand in-8°  
avec 206 figures en noir et en couleurs. . . . . 12 fr.  
3<sup>o</sup> Fascicule : **Système nerveux (Les Nerfs. Nerfs crâniens.  
Nerfs rachidiens).** 1 vol. grand in-8° avec 205 figures en noir  
et en couleurs . . . . . 12 fr.

### TOME QUATRIÈME

(*Volume complet.*)

- 1<sup>er</sup> Fascicule : **Tube digestif.** (*Deuxième édition revue et aug-  
mentée*). Un volume grand in-8°, avec 201 figures en noir  
et en couleurs. . . . . 12 fr.  
2<sup>o</sup> Fascicule : **Appareil respiratoire; Larynx, trachée, poumons,  
plèvres, thyroïde, thymus.** Un volume grand in-8°, avec  
121 figures en noir et en couleurs. . . . . 6 fr.  
3<sup>o</sup> Fascicule : **Annexes du tube digestif; Dents, glandes salivaires,  
foie, voies biliaires, pancréas, rate. Péritoine.** 1 vol. grand  
in-8° avec 361 figures en noir et en couleurs . . . . . 16 fr.

### IL RESTE A PUBLIER :

Les Lymphatiques qui termineront le tome II. Les Organes génito-uri-  
naires et les Organes des sens feront l'objet d'un tome V, afin d'éviter des  
volumes d'un maniement difficile.

# MANUEL DE PATHOLOGIE INTERNE

PAR

**Georges DIEULAFOY**

PROFESSEUR DE CLINIQUE MÉDICALE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS  
MÉDECIN DE L'HOTEL-DIEU, MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

**TREIZIÈME ÉDITION***entièrement refondue et considérablement augmentée*

4 volumes in-16 diamant, avec figures en noir et en couleurs,  
cartonnés à l'anglaise, tranches rouges. 28 fr.

Cette treizième édition, complètement refondue, porte à cinquante mille le nombre d'exemplaires tirés jusqu'à ce jour (édition française). Bien que cette nouvelle édition se soit accrue d'un millier de pages et d'une centaine de figures, nous avons tenu à en maintenir le prix à 28 francs.

**L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL**

Dr CRITZMAN, directeur

**Suite de Monographies cliniques**

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES  
en Médecine, en Chirurgie et en Biologie

Chaque monographie est vendue séparément. . . . . 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 Monographies au prix à forfait et payable d'avance de 10 francs pour la France et 12 francs pour l'étranger (port compris).

**RÉCENTES MONOGRAPHIES PUBLIÉES**

- N° 20. **La Peste** (*Epidémiologie. Bactériologie. Prophylaxie. Traitement*), par le Dr H. BOURGES, préparateur du laboratoire d'Hygiène à la Faculté de médecine de Paris.
- N° 21. **La Moelle osseuse à l'état normal et dans les infections**, par MM. H. ROGER, professeur agrégé de la Faculté de médecine de Paris, médec. des hôpit., et O. JOSUÉ, anc. inter. laur. des hôpit. de Paris.
- N° 22. **L'Entéro-colite muco-membraneuse**, par le Dr GASTON LYON, ancien chef de clinique médicale de la Faculté de Paris.
- N° 23. **L'Exploration clinique des fonctions rénales par l'élimination provoquée**, par le Dr CH. ACHARD, professeur agrégé à la Faculté de médecine, médecin de l'hôpital Tenon.
- N° 24. **L'Analgésie chirurgicale par voie rachidienne** (*Injections sous-arachnoïdiennes de cocaïne*). Technique, résultats opératoires, par le Dr TUFFIER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, chirurgien des hôpitaux.

# Manuel de Thérapeutique

Par Fernand BERLIOZ

Professeur à l'École de médecine de Grenoble, Directeur du Bureau d'Hygiène et de l'Institut sérothérapique,

Avec une Introduction de M. Ch. BOUCHARD

Professeur de pathologie et de thérapeutique générales,  
Médecin des Hôpitaux.

QUATRIÈME ÉDITION, REVUE ET AUGMENTÉE

1 vol. in-16 diamant, cartonné toile, tranches rouges . . . . . 6 fr.

**Leçons sur les Maladies nerveuses. Deuxième série :**  
**Hôpital Saint-Antoine**, par E. BRISSAUD, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Saint-Antoine, recueillies et publiées par Henry MEIGE. 1 volume grand in-8° avec 165 figures dans le texte . . . . . 15 fr.

**Précis d'anatomie pathologique**, par L. BARD, professeur à la Faculté de médecine de l'Université de Lyon, médecin de l'Hôtel-Dieu. *Deuxième édition, revue et augmentée*, avec 125 figures dans le texte. 1 volume in-16 diamant, de xii-804 pages, cartonné toile, tranches rouges . . . . . 7 fr. 50

**Leçons sur les maladies du sang (Clinique de l'Hôpital Saint-Antoine)**, par Georges HAYEM, professeur à la Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine, recueillies par MM. E. PARMENTIER, médecin des hôpitaux, et R. BENSAUDE, chef du laboratoire d'anatomie pathologique à l'hôpital Saint-Antoine. 1 vol. in-8°, broché, avec 4 planches en couleurs, par M. KARMANSKI . . . . . 15 fr.

**Précis d'Histologie**, par Mathias DUVAL, professeur à la Faculté de médecine de Paris, membre de l'Académie de médecine. *Deuxième édition, revue et augmentée*, illustrée de 427 figures dans le texte. 1 vol. gr. in-8° de 1020 pages . . . . . 18 fr.

**Consultations médicales sur quelques maladies fréquentes. Quatrième édition, revue et considérablement augmentée**, suivie de quelques principes de Déontologie médicale et précédée de quelques règles pour l'examen des malades, par le Dr J. GRASSET, professeur de clinique médicale à l'Université de Montpellier, correspondant de l'Académie de médecine. 1 volume in-16, reliure souple, peau pleine. . . . . 4 fr. 50

**Traité de Microbiologie**, par E. DUCLAUX, membre de l'Institut de France, directeur de l'Institut Pasteur, professeur à la Sorbonne et à l'Institut national agronomique.

I. Microbiologie générale. — II. Diastases, toxines et venins. — III. Fermentation alcoolique.

Chaque volume grand in-8°, avec figures dans le texte . . 15 fr.

- Étude pratique sur le Mal de Pott**, par le Dr V. MÉ-  
NARD, chirurgien de l'Hôpital maritime de Berck-sur-Mer. 1 vol.  
in 8°, avec 205 figures dans le texte. . . . . 12 fr.
- Traité de l'Uréthrostomie périméale dans les ré-  
trécissements incurables de l'urèthre.** — *Création  
au périnée d'un méat contre nature, périnéostomie, méat périméal*,  
par MM. Antonin PONCET, professeur à l'Université de Lyon, ex-  
chirurgien en chef de l'Hôtel-Dieu, membre correspondant de  
l'Académie de médecine, et X. DELORE, ex-prosecteur, chef de  
clinique chirurgicale à l'Université de Lyon, lauréat de l'Académie  
de médecine. 1 vol. in-8° avec 41 fig. dans le texte, broché. 4 fr.
- De l'Obésité** (*Hygiène et Traitement*), par le Dr Adolphe JAVAL.  
1 vol. in-8°. . . . . 3 fr.
- Traité des maladies chirurgicales d'origine  
congénitale**, par le Dr E. KIRMISSON, professeur agrégé à  
la Faculté de médecine, chirurgien de l'hôpital Trousseau, membre  
de la Société de Chirurgie. 1 volume grand in-8° avec 311 figures  
dans le texte et 2 planches en couleurs. . . . . 15 fr.
- Manuel de Pathologie externe**, par MM. RECLUS, KIR-  
MISSON, PEYROT, BOUILLY, professeurs agrégés à la Faculté de  
médecine de Paris, chirurgiens des hôpitaux. Édition complète  
illustrée de 720 figures. 4 volumes in-8°. . . . . 40 fr.  
*Chaque volume est vendu séparément.* . . . . . 10 fr.
- Cliniques chirurgicales de l'Hôtel-Dieu**, par  
Simon DUPLAY, professeur de clinique chirurgicale à la Faculté  
de médecine, membre de l'Académie de médecine, chirurgien de  
l'Hôtel-Dieu, recueillies et publiées par les Drs M. CAZIN, chef  
de clinique chirurgicale à l'Hôtel-Dieu, et S. CLADO, chef des tra-  
vaux gynécologiques. *Troisième série.* 1 vol. gr. in-8° avec fig. 8 fr.
- Éléments de Chimie physiologique**, par Maurice  
ARTHUS, professeur de physiologie et de chimie physiologique à  
l'Université de Fribourg. *Troisième édition revue et augmentée.* 1 vol.  
in-16, avec fig. dans le texte, cartonné toile, tr. rouges . . 4 fr.

## MANUEL D'ANATOMIE MICROSCOPIQUE et D'HISTOLOGIE

Par P.-E. LAUNOIS

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin de l'hôpital Tenon.

PRÉFACE DE M. Mathias DUVAL

Professeur d'Histologie à la Faculté de Paris, membre de l'Académie de médecine

*Deuxième édition entièrement refondue.*

1 vol. in-16 diamant, cart. toile avec 261 figures dans le texte. 8 fr.

## Bibliothèque

## d'Hygiène thérapeutique

DIRIGÉE PAR

## Le Professeur PROUST

Membre de l'Académie de médecine, Médecin de l'Hôtel-Dieu,  
Inspecteur général des Services sanitaires.

*Chaque ouvrage forme un volume in-16, cartonné toile, tranches rouges,  
et est vendu séparément : 4 fr.*

Chacun des volumes de cette collection n'est consacré qu'à une seule maladie ou à un seul groupe de maladies. Grâce à leur format, ils sont d'un maniement commode. D'un autre côté, en accordant un volume spécial à chacun des grands sujets d'hygiène thérapeutique, il a été facile de donner à leur développement toute l'étendue nécessaire.

L'hygiène thérapeutique s'appuie directement sur la pathogénie ; elle doit en être la conclusion logique et naturelle. La genèse des maladies sera donc étudiée tout d'abord. On se préoccupera moins d'être absolument complet que d'être clair. On ne cherchera pas à tracer un historique savant, à faire preuve de brillante érudition, à encombrer le texte de citations bibliographiques. On s'efforcera de n'exposer que les données importantes de pathogénie et d'hygiène thérapeutique et à les mettre en lumière.

## VOLUMES PARUS

- L'Hygiène du Goutteux**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène de l'Obèse**, par le professeur PROUST et A. MATHIEU, médecin de l'hôpital Andral.
- L'Hygiène des Asthmatiques**, par E. BRISSAUD, professeur agrégé, médecin de l'hôpital Saint-Antoine.
- L'Hygiène du Syphilitique**, par H. BOURGES, préparateur au laboratoire d'hygiène de la Faculté de médecine.
- Hygiène et thérapeutique thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- Les Cures thermales**, par G. DELFAU, ancien interne des hôpitaux de Paris.
- L'Hygiène du Neurasthénique**, par le professeur PROUST et G. BALLAT, professeur agrégé, médecin des hôpitaux de Paris. (*Deuxième édition.*)
- L'Hygiène des Albuminuriques**, par le D<sup>r</sup> SPRINGER, ancien interne des hôpitaux de Paris, chef de laboratoire de la Faculté de médecine à la Clinique médicale de l'hôpital de la Charité.
- L'Hygiène du Tuberculeux**, par le D<sup>r</sup> CHUQUET, ancien interne des hôpitaux de Paris, avec une introduction du D<sup>r</sup> DAREMBERG, membre correspondant de l'Académie de médecine.
- Hygiène et thérapeutique des maladies de la Bouche**, par le D<sup>r</sup> CRUET, dentiste des hôpitaux de Paris, avec une préface de M. le professeur LANGELOUE, membre de l'Institut.
- Hygiène des maladies du Cœur**, par le D<sup>r</sup> VAQUEZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, avec une préface du professeur POTAIN.
- Hygiène du Diabétique**, par A. PROUST et A. MATHIEU.
- L'Hygiène du Dyspeptique**, par le D<sup>r</sup> LIROSSIER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Lyon, membre correspondant de l'Académie de médecine, médecin à Vichy.

## VOLUMES EN PRÉPARATION

- Hygiène thérapeutique des maladies de la Peau**, par le D<sup>r</sup> THIBIERGE.

## CHARLES GERHARDT

SA VIE, SON ŒUVRE, SA CORRESPONDANCE  
(1816-1856)

## DOCUMENT D'HISTOIRE DE LA CHIMIE

PAR MM.

Édouard GRIMAUD ET Charles GERHARDT  
Do l'Institut. Ingénieur.

Un volume in-8° de XI-595 pages avec portrait. . . 15 fr.

## ESSAIS

DE

PHILOSOPHIE ET D'HISTOIRE  
DE LA BIOLOGIE

Par E. GLEY

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris,  
Assistant près de la Chaire de Physiologie générale  
au Muséum d'Histoire naturelle.

Un volume in-18 jésus . . . . . 3 fr. 50

**Le Constructeur**, principes, formules, tracés, tables et renseignements pour l'établissement des *projets de machines* à l'usage des ingénieurs, constructeurs, architectes, mécaniciens, etc., par **F. Reuleaux**. *Troisième édition française*, par **A. Debize**, ingénieur des manufactures de l'État. 1 volume in-8° avec 184 figures. . . . . 30 fr.

**Traité d'analyse chimique qualitative**, par **R. Frésenius**. Traité des opérations chimiques, des réactifs et de leur action sur les corps les plus répandus, essais au chalumeau, analyse des eaux potables, des eaux minérales, du sol, des engrais, etc. Recherches chimico-légales, analyse spectrale. *Neuvième édition française* d'après la 10<sup>e</sup> édition allemande, par **L. Gautier**. 1 vol. in-8° avec grav. et un tableau chromolithographique . . . . . 7 fr.

**Traité d'analyse chimique quantitative**, par **R. Frésenius**. Traité du dosage et de la séparation des corps simples et composés les plus usités en pharmacie, dans les arts et en agriculture, analyse par les liqueurs titrées, analyse des eaux minérales, des cendres végétales, des sols, des engrais, des minerais métalliques, des fontes, dosage des sucres, alcalimétrie, chlorométrie, etc. *Septième édition française*, traduite sur la 6<sup>e</sup> édition allemande, par **L. Gautier**. 1 vol. in-8° avec 251 grav. dans le texte . . 16 fr.

**Traité**  
**d'Analyse chimique**  
**QUANTITATIVE PAR ÉLECTROLYSE**

Par **J. RIBAN**

Professeur chargé du cours d'analyse chimique  
et maître de conférences à la Faculté des sciences de l'Université de Paris.

1 vol. grand in-8° avec 96 figures dans le texte. 9 fr.

---

**Manuel pratique**  
**de l'Analyse des Alcools**  
**ET DES SPIRITUEUX**

PAR

**Charles GIRARD**

Directeur du Laboratoire municipal  
de la Ville de Paris.

**Lucien CUNIASSE**

Chimiste-expert  
de la Ville de Paris.

1 volume in-8° avec figures et tableaux dans le texte. Relié toile. 7 fr.

---

**STATION DE CHIMIE VÉGÉTALE DE MEUDON**  
**(1883 - 1899)**

**Chimie végétale**  
**et agricole**

PAR

**M. BERTHELOT**

Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences,  
Professeur au Collège de France.

4 volumes in-8° avec figures dans le texte . . . . . 36 fr.

---

**Précis de Chimie analytique**

*Analyse qualitative, Analyse quantitative par liqueurs titrées, Analyse des gaz, Analyse organique élémentaire, Analyses et Dosages relatifs à la Chimie agricole, Analyse des vins, Essais des principaux minerais.*

Par **J.-A. MULLER**

Docteur ès sciences, Professeur à l'École supérieure des sciences d'Alger.

1 volume in-12, broché . . . . . 3 fr.

---



# LES TRAVAUX DE *l'Exposition de 1900*

Par **A. DA CUNHA**

Ingénieur des Arts et Manufactures.

**Préface de HENRI DE PARVILLE**

1 vol. in-8°, avec 189 figures dans le texte, broché . . . . . 4 fr.

L'ouvrage de M. Da Cunha nous fait assister, depuis le début, à la création de cette œuvre admirable et nous la fait voir sous un aspect nouveau. Un des côtés les plus intéressants, et peut-être les moins connus de cette grande manifestation, a été en effet celui qui se rapporte à la période de travail et d'élaboration.

Cette Exposition marque une date dans l'histoire industrielle du monde, elle est une ère à laquelle on se reportera comme elle a été un but pour bien des efforts. Il faut se souvenir. Et l'on trouvera un charme singulier à lire les pages écrites par un passionné du progrès, qui a vu jour par jour s'élever et grandir l'œuvre immense, du soubassement au faite.

## PETITE BIBLIOTHÈQUE DE " LA NATURE "

**Recettes et Procédés utiles**, recueillis par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. Neuvième édition.

**Recettes et Procédés utiles. Deuxième série : La Science pratique**, par Gaston TISSANDIER. Cinquième édition, avec figures dans le texte.

**Nouvelles Recettes utiles et Appareils pratiques. Troisième série**, par Gaston TISSANDIER. Quatrième édition, avec 91 figures dans le texte.

**Recettes et Procédés utiles. Quatrième série**, par Gaston TISSANDIER. Deuxième édition, avec 38 figures dans le texte.

**Recettes et Procédés utiles. Cinquième série**, par J. LAFFARGUE, secrétaire de la rédaction de *la Nature*. Avec figures dans le texte.

**Chacun de ces volumes in-18 est vendu séparément**

Broché . . . . . 2 fr. 25 | Cartonné toile . . . . . 3 fr.

**La Physique sans appareils et la Chimie sans laboratoire**, par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de *la Nature*. Septième édition des *Récréations scientifiques*. Ouvrage couronné par l'Académie (Prix Montyon). Un volume in-8° avec nombreuses figures dans le texte. Broché, 3 fr. Cartonné toile, 4 fr.

**OUVRAGES DE M. A. DE LAPPARENT**

Membre de l'Institut, professeur à l'École libre des Hautes-Études.

---

**TRAITÉ DE GÉOLOGIE**

**QUATRIÈME ÉDITION**

entièrement refondue et considérablement augmentée.

3 vol. grand in-8°, d'environ 1.850 pages, avec nombreuses figures, cartes et croquis. . . . . 35 fr.

---

**Abrégé de géologie.** *Quatrième édition, entièrement refondue.* 1 vol. in-16 de viii-299 pages avec 141 gravures et une carte géologique de la France en chromolithographie, cartonné toile . . . . . 3 fr.

**Notions générales sur l'écorce terrestre.** 1 vol. in-16 de 156 pages avec 33 figures, broché. . . . . 1 fr. 20

**La géologie en chemin de fer.** Description géologique du Bassin parisien et des régions adjacentes (Bretagne aux Vosges. — Belgique à Auvergne). 1 vol. in-18 de 608 pages, avec 3 cartes chromolithographiées, cartonné toile. . . . . 7 fr. 50

**Cours de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de xx-703 pages avec 619 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée. . . . . 15 fr.

**Précis de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. in-16 de xii-398 pages avec 235 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée, cartonné toile. . . . . 5 fr.

**Leçons de géographie physique.** *Deuxième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de xvi-718 pages avec 162 figures dans le texte et une planche en couleurs. . . . . 12 fr.

---

**COLLECTION BOULE**

---

**Le Cantal.** *Guide du touriste, du naturaliste et de l'archéologue,* par Marcellin BOULE, docteur ès sciences, Louis FARGES, archiviste-paléographe. 1 volume in-16 avec 85 dessins et photographies, et 2 cartes en couleurs, relié toile anglaise . . . . . 4 fr. 50

**La Lozère.** *Guide du touriste, du naturaliste et de l'archéologue,* par Ernest CORD, ingénieur-agronome, Gustave CORD, docteur en droit, avec la collaboration de M. Armand VIRÉ, docteur ès sciences. 1 vol. in-16 avec de nombreux dessins et photographies et cartes en couleurs. . . . . 4 fr. 50

# Traité de Zoologie

Par **Edmond PERRIER**

Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine,  
Directeur du Muséum d'Histoire Naturelle.

- FASCICULE I : Zoologie générale.** 1 vol. gr. in-8° de 412 p. avec 458 figures dans le texte. . . . . 12 fr.
- FASCICULE II : Protozoaires et Phytozoaires.** 1 vol. gr. in-8° de 452 p., avec 243 figures. . . . . 10 fr.
- FASCICULE III : Arthropodes.** 1 vol. gr. in-8° de 480 pages, avec 278 figures. . . . . 8 fr.
- Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol. in-8° de 1344 pages, avec 980 figures. . . . . 30 fr.
- FASCICULE IV : Vers et Mollusques.** 1 vol. gr. in-8° de 792 pages, avec 566 figures dans le texte. . . . . 16 fr.
- FASCICULE V : Amphioxus, Tuniciers.** 1 vol. gr. in-8° de 221 pages, avec 97 figures dans le texte. . . . . 6 fr.
- FASCICULE VI : Vertébrés.** (*Sous presse*).

Cours préparatoire au Certificat d'Études Physiques,  
Chimiques et Naturelles (P. C. N.)

## COURS ÉLÉMENTAIRE DE ZOOLOGIE

Par **Rémy PERRIER**

Maître de conférences à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris,  
Chargé du Cours de Zoologie

Pour le certificat d'études physiques, chimiques et naturelles.

1 vol. in-8° avec 693 figures. Relié toile : 10 fr.

## Traité de Manipulations de Physique

Par **B.-C. DAMIEN**

Professeur de Physique à la Faculté des sciences de Lille.

et **R. PAILLOT**

Agrégé, chef des travaux pratiques de Physique à la Faculté des sciences de Lille.

1 volume in-8° avec 246 figures dans le texte. 7 fr.

## Éléments de Chimie Organique et de Chimie Biologique

Par **W. ŒCHSNER DE CONINCK**

Professeur à la Faculté des sciences de Montpellier, Membre de la Société de Biologie, Lauréat de l'Académie de médecine et de l'Académie des sciences.

1 volume in-16 . . . . . 2 fr.

## ÉLÉMENTS DE CHIMIE DES MÉTAUX

USAGE DU COURS PRÉPARATOIRE AU CERTIFICAT D'ÉTUDES P.C.N.

Par le Professeur **W. ŒCHSNER DE CONINCK**

Membre de la Société de Biologie, lauréat de l'Académie de Médecine et de l'Académie des Sciences.

1 volume in-16 . . . . . 2 fr.

# LA GÉOGRAPHIE

BULLETIN

DE LA

## Société de Géographie

PUBLIÉ TOUS LES MOIS PAR

LE BARON HULOT, Secrétaire général de la Société

ET

M. CHARLES RABOT, Secrétaire de la Rédaction

**ABONNEMENT ANNUEL : PARIS : 24 fr. — DÉPARTEMENTS : 26 fr.**

**ÉTRANGER : 28 fr. — Prix du numéro : 2 fr. 50**

Chaque numéro, du format grand in-8°, composé de 80 pages et accompagné de cartes et de gravures nombreuses, comprend des mémoires, une chronique, une bibliographie et le compte rendu des séances de la Société de Géographie. La nouvelle publication n'est pas seulement un recueil de récits de voyages pittoresques, mais d'observations et de renseignements scientifiques.

La chronique rédigée par des spécialistes pour chaque partie du monde fait connaître, dans le plus bref délai; toutes les nouvelles reçues des voyageurs en mission par la Société de Géographie, et présente un résumé des renseignements fournis par les publications étrangères : elle constitue, en un mot, un résumé du *mouvement géographique* pour chaque mois

---

# La Nature

REVUE ILLUSTRÉE

*des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie*

DIRECTEUR : **Henri de PARVILLE**

**Abonnement annuel : Paris : 20 fr. — Départements : 25 fr. — Union postale : 26 fr.**

**Abonnement de six mois : Paris : 10 fr. — Départements : 12 fr. 50. — Union postale : 13 fr.**

Fondée en 1873 par GASTON TISSANDIER, la *Nature* est aujourd'hui le plus important des journaux de vulgarisation scientifique par le nombre de ses abonnés, par la valeur de sa rédaction et par la sûreté de ses informations. Elle doit ce succès à la façon dont elle présente la science à ses lecteurs en lui ôtant son côté aride tout en lui laissant son côté exact, à ce qu'elle intéresse les savants et les érudits aussi bien que les jeunes gens et les personnes peu familiarisés avec les ouvrages techniques; à ce qu'elle ne laisse, enfin, rien échapper de ce qui se fait ou se dit de neuf dans le domaine des découvertes qui trouvent chaque jour des applications nouvelles aux conditions de notre vie qu'elles modifient sans cesse.

---

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur; 1, rue Cassetto. — 20185.