

MÉTALLURGIA-COLLECTION

MARCEL ASTRUC

La Métallurgie

à la portée
de tous



Fonte
Fer
Acier
Aciers spéciaux

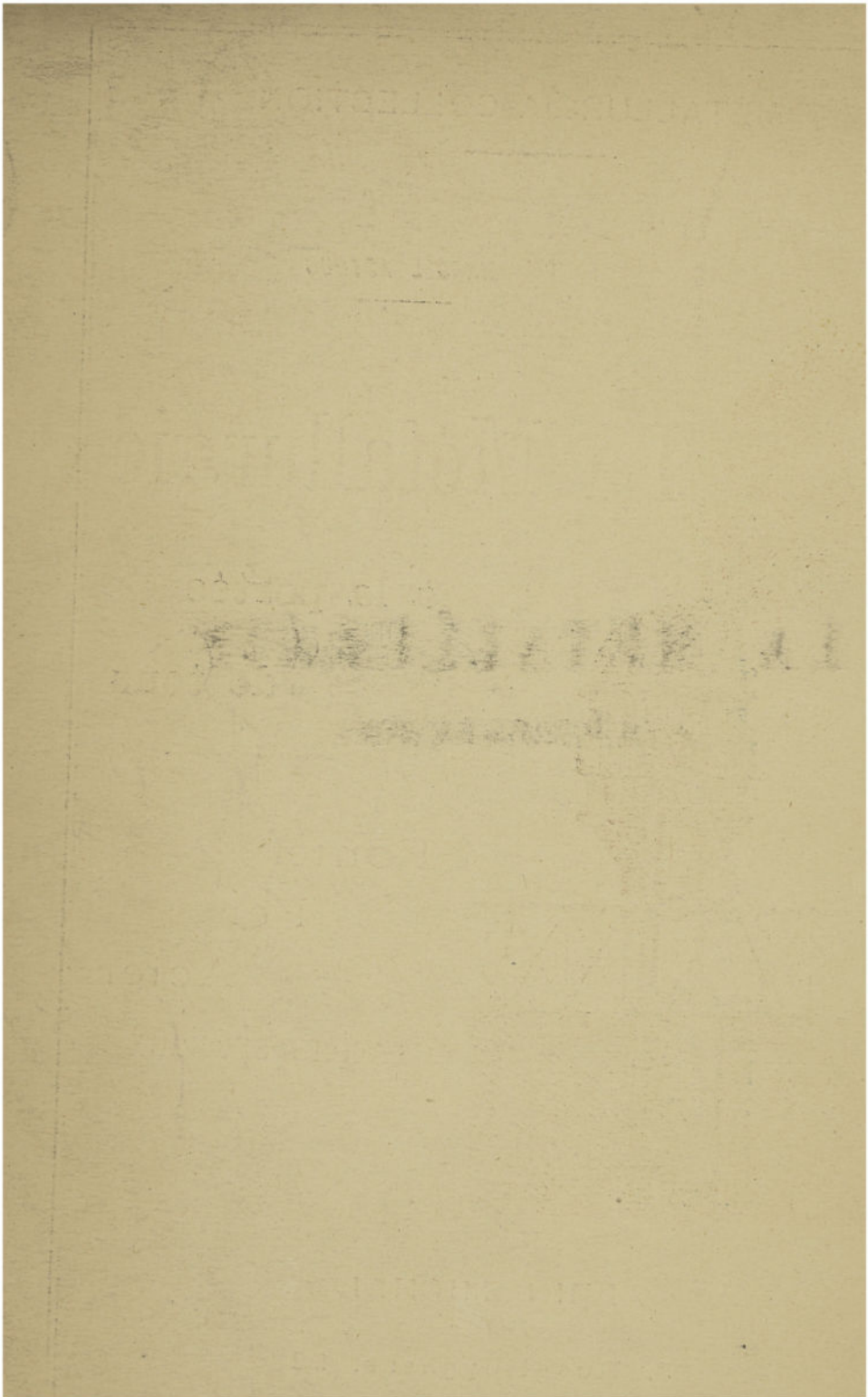
ALBIN MICHEL

Éditeur

22, Rue Huyghens, 22

PARIS

1929



MAJORATION DE 20%

Décision du Syndicat des Editeurs
du 27 Juin 1947



*Sitruine
Rayon*

LA MÉTALLURGIE

A LA PORTÉE DE TOUS

D. Mic 53

Dédié à mes amis ARNAUD, RABALAND et RENAUD
Ingénieurs

en souvenir de nos Etudes à l'Ecole Nationale

des Arts et Métiers d'Angers

MARCEL ASTRUC

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES
DIPLOMÉ ET MÉDAILLÉ DES ÉCOLES NATIONALES D'ARTS-ET-MÉTIERS
OFFICIER DU SERVICE DU CONTRÔLE DES FABRICATIONS AUTOMOBILES

LA MÉTALLURGIE

A LA PORTÉE DE TOUS

OUVRAGE DE VULGARISATION

LA FONTE
LE FER
L'ACIER
LES ACIERS SPÉCIAUX

« *La Vulgarisation* rend l'étude agréable et
« accessible à tous. — Pour que cette
« étude obtienne son *maximum d'effet*
« utile, elle doit être *claire, méthodique,*
« *exacte et complète.* L'Auteur a réuni
« ces quatre conditions dans le présent
« ouvrage qui est des plus intéressants
« et des plus instructifs. » L'ÉDITEUR.

PARIS
ALBIN MICHEL, ÉDITEUR

22, RUE HUYGHENS, 22

—
1919

PRÉFACE

Nous publions dans ce recueil une série de conférences [très amplifiées d'ailleurs, par des exposés nouveaux (1)] que nous avons eu l'honneur de professer devant un public qui nous a paru beaucoup s'y intéresser.

L'accueil, particulièrement sympathique, reçu par notre exposé, nous a amené par la suite, à mettre ce travail à la portée de toutes les personnes qui désirent s'instruire (2).

Nous avons considéré d'autre part, que les méthodes de fabrication de l'Acier doivent être largement vulgarisées en raison de l'essor formidable pris par la Métallurgie depuis quelques années.

L'utilisation de l'Acier apparaît, en effet, dans les principales branches de l'activité industrielle (Artillerie, Marine, Chemins de fer, Automobilisme, Aviation, Outillage, etc., etc.).

Mais l'étude du *Métal-Roi* et de ses dérivés les *Aciers spéciaux*, ne saurait être complète, si elle n'était précédée de celle de la Fonte et du Fer.

(1) Notamment en ce qui concerne l'application de la manutention mécanique dans le travail du Haut-Fourneau et dans l'Organisation générale des Usines métallurgiques.

(2) Bien des personnes reconnaîtront avec moi, qu'il n'est jamais inutile d'augmenter ses connaissances intellectuelles, surtout si elles n'ont pas oublié cette vérité cruelle... mais juste :

Qui n'acquiert point... perd

ce qui revient à dire : que le niveau intellectuel ne se maintient pas à l'état stationnaire et qu'on doit toujours tâcher de l'élever.

L'étude du Fer, même au point de vue purement rétrospectif, contient des analogies pouvant servir d'excellent préambule à des fabrications plus modernes. Le lecteur y verra déjà l'action décarburante de l'oxygène *par contact*, (analogie avec l'acier Bessemer) et l'affinage *par réaction*. (Analogie avec l'acier Martin.) L'étude du fer montre de plus la formation des scories *silico manganèuses*, où le *manganèse* joue son rôle si important d'*agent de fluidité* si l'on peut ainsi s'exprimer.

La nature particulière de ce travail nous a permis, de plus, d'utiliser des *méthodes récapitulatives spéciales* (1) qui laisseront, à notre avis, une empreinte durable dans l'esprit du lecteur.

Enfin, nous avons pensé qu'il ne fallait pas craindre de nous répéter, sur des points jugés importants, chaque fois que la chose pouvait être utile pour rendre cette étude plus profitable encore.

L'AUTEUR.

(1) Ces *méthodes récapitulatives spéciales* ont consisté à montrer des *vues d'ensemble* où tous les appareils précédemment étudiés sont groupés dans leurs *positions relatives réelles* et dans des conditions telles qu'il est facile de les concevoir en action.

(Voir les chapitres relatifs aux visites d'usines : Aciéries Bessemer et Aciéries Martin).

DIVISIONS DE CET OUVRAGE

Notre programme d'Etude

Nous allons partager ce travail en 4 parties dont voici l'énumération.

PREMIÈRE PARTIE

Généralités

Les matières premières : *Minerais, fondants et cokes métallurgiques.*
Teneur en carbone des fers, fontes et aciers au point de vue comparatif. Quelques renseignements sur le *carbone.*

DEUXIÈME PARTIE

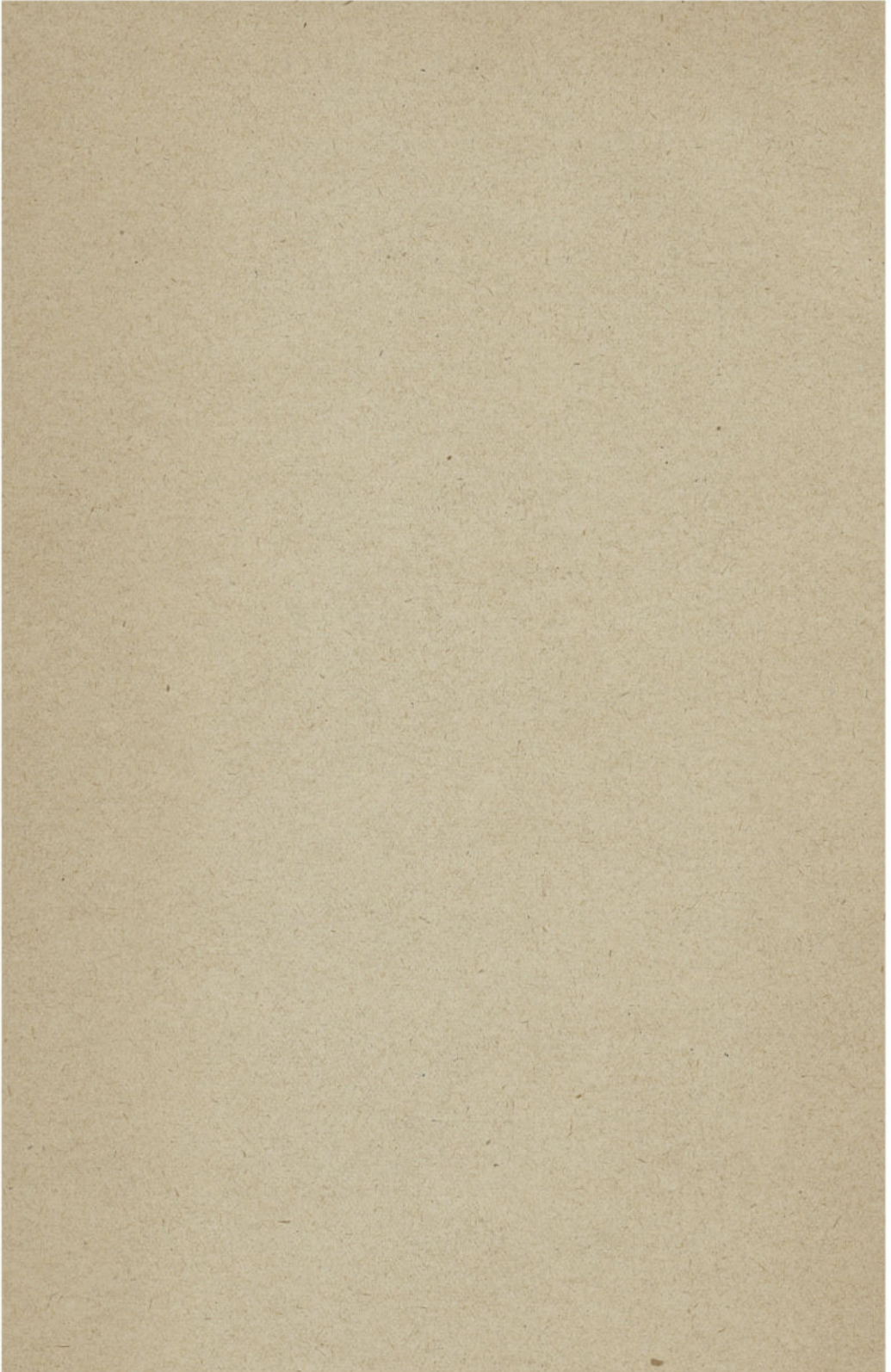
Étude de la fabrication de la fonte

TROISIÈME PARTIE

Étude de la fabrication du fer

QUATRIÈME PARTIE

Étude de la fabrication de l'acier *Aciers ordinaires et aciers spéciaux*



LA MÉTALLURGIE A LA PORTÉE DE TOUS

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

Les matières premières

I. Les minerais de fer. — Ce sont les *minerais de fer* qui permettent d'obtenir *la fonte*.

Les minerais en question, se trouvent dans la nature sous l'une des principales formes que nous allons énumérer, en faisant remarquer toutefois qu'elles ne présentent pas toutes le même intérêt au point de vue métallurgique.

On les rencontre :

Sous forme d'*oxydes de fer* (qui constitueront pour nous, la division A).

Sous forme de *carbonates de fer* (qui constitueront pour nous, la division B).

Sous forme de *sulfures de fer* (qui constitueront pour nous, la division C).

Sous forme de *résidus d'usines* (qui constitueront pour nous, la division D).

Division A. — Les minerais oxydés

Parmi les minerais de cette classe nous citerons le « *Fer oligiste* » dont la formule est Fe^2O^3 .



Nous rappelons à nos lecteurs, peu familiarisés avec les formules chimiques (1), la signification de Fe^2O^3 .

Le symbole *Fe* représente *le fer* et indique en même temps d'une façon implicite, qu'il s'agit de 56 grammes de ce métal.

Le symbole chimique : *O* représente 16 grammes et indique qu'il s'agit de l'*oxygène*. La formule Fe^2O^3 indique donc qu'il entre dans le fer oligiste ; 2 fois 56 grammes de fer, pour 3 fois 16 grammes d'oxygène.

Gisement. — Le *fer oligiste*, se rencontre en gisements importants à l'île d'Elbe, on le trouve également en Westphalie et en Suède.

Ce minerai contient des cristaux il laisse de plus une trace rougeâtre quand on le frotte sur une feuille de papier blanc, par exemple.

II. L'hématite rouge. — Ce minerai a aussi pour formule Fe^2O^3 .

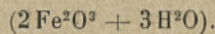
Alors que le précédent présentait des cristaux dans sa cassure, ce dernier au contraire est à l'état compact.

Il est assez dur.

Il est très pur au point de vue du soufre et du phosphore, ce qui est, comme nous le verrons plus tard, une grande qualité au point de vue du traitement métallurgique.

On rencontre notamment ce minerai en Angleterre et en Allemagne (Nassau).

III. Hématite brune, fer oolithique et limonite. — L'hématite brune, le fer oolithique et la limonite répondent à la formule :



Les chimistes désignent ces minerais sous le nom général de *sesqui-oxydes de fer hydratés*.

On les rencontre en masse non cristallisées, soit jaunes, soit brunes.

Ils sont loin d'être purs et nécessitent une analyse sérieuse avant leur emploi dans les « *lits de fusion* » des hauts-fourneaux.

Il faut, en effet, que les métallurgistes, sachent par l'analyse précitée,

(1) Voir « *Formula* » du même auteur. Édition Lavauzelle (Notions de théorie atomique).

avec quelles autres matières [ou fondants appropriés], ils devront mélanger ces minerais en vue de leur utilisation future pour la fabrication de la fonte.

Gisements. — Le sexquioxyde de fer hydraté est très abondant dans la nature.

On le rencontre notamment, en Bourgogne, en Franché-Comté, dans les Landes, dans le Berry, en Alsace-Lorraine et en Angleterre.

Voici par exemple des compositions de minerais hydratés appartenant à la série que nous étudions.

Nous donnons deux types qui montrent leur différence de composition centésimale.

L'*hématite brune des Landes* est pure au point de vue du phosphore (ce qui est à considérer) et sa composition pour cent, répond sensiblement aux chiffres suivants :

Hématite brune des Landes ..	{	Oxyde de fer (Fe^2O^3).....	70,00 %
		Oxyde de manganèse.....	1,5 »
		Argile.....	14,5 »
		Eau.....	13,25 »
		Autres matières.....	0,75 »

Au contraire, le *minerai oolithique que l'on trouve sur les bords de la Moselle contient du phosphore*, de la silice et de la chaux, du sable, un peu d'acide carbonique et d'alumine, que l'on ne rencontre pas dans le sexquioxyde de fer hydraté des Landes.

Composition d'un minerai (fer oolithique) rencontré en Alsace-Lorraine (près de la Moselle) :

Fer oolithique	{	Oxyde de fer (Fe^2O^3).....	63,40 %
		Alumine.....	1,12 »
		Silice.....	3,00 »
		Acide phosphorique.....	0,55 »
		Argile et sable.....	13,30 »
		Chaux.....	3,65 »
		Acide carbonique et eau.....	14,65 »
Autres matières.....	00,33 »		

Les différences de composition de deux sexquioxydes hydratés pris à dessein montrent combien il est utile de les soumettre à l'analyse, car ils présentent entre eux des écarts très notables au point de vue des corps étrangers qui les accompagnent.

Nous avons mis en évidence les différences en question en prenant l'analyse d'une hématite brune et d'un minerai oolithique ; mais des écarts de décomposition chimique peuvent exister encore pour le même type de minerai suivant son lieu de gisement.

La Magnétite (ou fer magnétique). — Cet oxyde de fer a pour formule chimique Fe^3O^4 . Il agit sur l'aimant.

Les chimistes diront que l'on se trouve au point de vue de la formule de ce corps devant un mélange de protoxyde de fer FeO et de sesquioxyde Fe^2O^3 .

Nous allons expliquer pour les personnes peu familiarisées avec ce genre de notation ce que signifie



au point de vue de la composition en poids.

Le	»	O	»	
				16 grammes

Le symbole : Fe représente 56 grammes

Donc dans la « magnétite », il entre :

3 fois	56 grammes de fer (Fe) pour
4 fois	16 grammes d'Oxygène (O)

Gisements. — La *Magnétite* qui donne un métal très pur, se rencontre en abondance, en Suède, en Norvège. Il en existe des montagnes entières dans ces pays.

On le rencontre encore en *Algérie*, en *Laponie*, ainsi qu'en *Russie* (gisements de l'Oural).

Division B. — Les Minerais carbonatés.

Parmi les minerais carbonatés se trouvent ceux que l'on désigne sous le nom de « *Sidérose* ».

Gisement principal. — C'est un *minerai célèbre en Angleterre* où on le rencontre dans de très nombreuses mines.

Au sujet de la « *Sidérose* », nous ne manquerons pas de signaler une remarque en quelque sorte classique, c'est que le minerai est d'une exploitation d'autant plus aisée qu'il se trouve à proximité des mines de houille.

La *houille* fournissant le coke métallurgique (et ce combustible étant utile dans les hauts fourneaux pour la fabrication de la fonte) il se trouve que l'on a à *pied-d'œuvre*, minerai et combustible. Cela est fort intéressant au point de vue des *prix de revient de la tonne de fonte*, qui n'est plus grévée par des frais de transport pouvant devenir relativement onéreux.

L'Angleterre est de ce côté nettement privilégiée par rapport à la France et à l'Allemagne.

En effet, alors que ce premier pays possède la *houille à côté du minerai de fer*, la France possède du Minerai et peu de houille alors que c'est tout juste l'inverse en *Allemagne*.

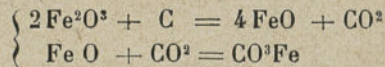
AUTRES GISEMENTS

Le *Carbonate de fer* se rencontre également dans les *Pyénées* et près de *Saint-Étienne*.

MÉCANISME DE LA FORMATION DU CARBONATE DE FER PRÈS DES MINES DE HOUILLE

Les minéralogistes indiquent une chose fort intéressante à notre avis, sur la formation primitive du Carbonate de fer.

Elle a lieu dans les milieux *réducteurs* c'est-à-dire capables d'enlever l'*oxygène*. Considérons par exemple du fer sous forme de minerai oxydé, Fe^2O^3 en présence du carbone, il se produit alors la réaction suivante :



La première de ces réactions est une « *réduction* » d'un oxyde de fer par le carbone dont le résultat est de donner un oxyde moins riche en oxygène que celui qui sert de point de départ et, dans la 2^e réaction, l'acide carbonique produit s'alliant à FeO donne la *sidérose* ou CO^3Fe .

Ces deux réactions se produiraient d'une façon simultanée et *constituent une façon d'expliquer (1) que des oxydes de fer dans le voisinage d'une mine de houille (c'est-à-dire d'un milieu réducteur) se transforment en carbonate de fer.*

(1) Nous ne voulons pas dire par là que d'autres explications ne sont pas aussi logiques. Mais nous la trouverons rationnelle.

D'où il est facile de comprendre l'existence de la sidérose en *Angleterre* près des mines de houilles, ainsi qu'en *France*, près de *Saint-Étienne*.

Nous rappelons que la formule de la sidérose : CO^3Fe .

Signifie que :

pour 1 fois 56 grammes de fer (Fe), il entre
1 fois 12 grammes de carbone (C)
et 3 fois 16 grammes d'oxygène (O),

en vertu de ce que les symboles chimiques :

(Fe), (C), (O)

représentent respectivement :

56 gr., 12 gr., 16 gr.

Fer carbonaté oolithique. — Le fer carbonaté oolithique doit être également signalé, on le rencontre dans la région de Nancy et de Longwy, ainsi que dans le département de l'Isère.

Nous avons précédemment donné (page 3) la composition centésimale d'un minerai oolithique de la Moselle, *ce minerai est phosphoreux*, nous signalons le fait à nos lecteurs, car nous serons obligé plus tard de lui appliquer des traitements spéciaux pour en obtenir la fonte. [Procédés Thomas et Gilchrist et Procédé Martin Basique].

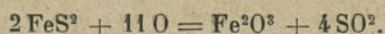
Division C. — Les sulfures de fer ou pyrites

En principe les minerais contenant du soufre ne sont pas utilisés (sauf exception que nous indiquerons) pour la production de la fonte.

Nous signalons, en effet, à nos lecteurs *que le soufre est très difficile à éliminer* et qu'il donne un métal de très mauvaise qualité.

Toutefois nous indiquerons pour être exact, que dans certaines usines de Westphalie, les pyrites de fer ont été employées, *après oxydation*, afin d'être mélangées à d'autres minerais que l'on chargeait ensuite dans les hauts-fourneaux.

L'oxydation se fait par l'opération dite du *grillage* qui correspond à l'équation chimique suivante :



Dans cette réaction FeS^2 représente le sulfure de fer ou pyrite. L'oxygène : O brûle le soufre qui doit, en principe, s'éliminer sous forme de SO^2 , c'est-à-dire d'*acide sulfureux*. On retombe alors sur Fe^2O^3 qui est du sexquioxyde de fer déjà connu de nos lecteurs. Mais ne l'oublions pas, ce sexquioxyde est forcément impur vu son origine et son mode de fabrication.

Si l'utilisation des pyrites a été permise dans une certaine limite, c'est grâce au mélange avec d'autres minerais.

Cependant, et nous insistons là-dessus, cette manière de procéder est une exception qui vient confirmer la règle, *car le grillage n'élimine le soufre qu'imparfaitement*.

Les sulfures de fer ou pyrites sont très abondants dans la nature et leur emploi principal se rencontre en chimie industrielle, comme nous allons le voir.

Nous citerons à titre documentaire l'emploi industriel des sulfures de fer pour la production du gaz sulfureux SO^2 , par leur grillage à haute température.

La réaction donnant cet acide sulfureux est la même que celle précédemment citée :



L'acide sulfureux est très important en ce sens qu'il permet la production de l'acide sulfurique à la fabrication duquel il sert industriellement.

Les sulfures de fer ou pyrites sont également employés pour la production industrielle des sulfates de fer (sulfate ferrique [désinfectant] et sulfate ferreux).

Division D. — Les résidus d'usines

Les résidus d'usines, la ferraille..... etc., constituent une ressource métallurgique qui a son importance.

Cette classe de produits donne du fer *déjà traité* et qui, par conséquent, constitue une matière en quelque sorte, *initiale bien plus pure que le minerai qui lui a donné naissance*. (Ne serait-ce que pour la matière terreuse (*ou gangue*) qui enrobe le minerai en question et qui n'existe pas dans les résidus d'usines.)

On réserve le nom de « Riblons » (retenons ce terme, nous le retrouverons dans le fameux procédé Martin) à de la ferraille contenant à la fois : *fer, fonte et acier*.

Les *scories*, sont des résidus provenant de certains fours métallurgiques.

Les *crasses* sont, au contraire, des *résidus de laminage* (provenant des *laminoirs*) ou de *martelage* (provenant des *marteaux-pilons*).

CHAPITRE II

ETUDES PRÉLIMINAIRES SUR LA TENEUR EN CARBONE DES FERS, FONTES ET ACIERS.

Quelques renseignements sur le carbone.

Différences entre la fonte, le fer et l'acier d'après la teneur en carbone.

Le *fer* comme chacun le sait *n'est pas employé industriellement à l'état pur.*

Qu'il s'agisse de la fonte, qu'il s'agisse de l'acier, qu'il s'agisse même du fer industriel, dont l'emploi tend à disparaître, *le carbone* y entre en combinaison *avec le fer pur.*

a) Voyons d'abord la fonte. C'est cette dernière qui contient le carbone dans la proportion la plus grande.

On compte, *en moyenne*, que la fonte contient 3 à 4 % de carbone.

Mais, il y a des fontes à 2, 3 % et des fontes à 5 % et même plus comme nous l'indiquons sur notre graphique. *La teneur moyenne* (donnée ici) et dans certaines classifications est donc admissible.

La température de fusion [que l'on appelle plus communément le point de fusion] de la fonte est plus basse que celle de l'acier et du fer.

Elle oscille entre 1050° et 1300° C. (Voir figure n° 4, p. 13).

Il est entendu que les températures en question sont d'autant plus fortes que le pourcentage en carbone est plus faible.

On peut d'ailleurs en passant retenir cette règle qui nous paraît intéressante dès maintenant :

« *La combinaison « fer-carbone » est d'autant plus fusible que le carbone y entre en plus grande quantité.* »

La déduction immédiate de la règle précitée ; c'est que *les aciers très doux et les fers fondent à des températures plus élevées que les aciers très durs et les fontes.*

Voyons maintenant *la transition* entre les fontes et les aciers sauvages.

Quand on diminue le pourcentage du carbone contenu dans la fonte depuis 2, 3 % jusqu'à 2 % environ on se trouve dans une zone que nous appellerons : *la zone de transition entre les fontes et les aciers sauvages.* (Les aciers ainsi appelés donnent un métal trop cassant, et ne sont pratiquement d'aucune utilité.)

c) Entre 2 % et 1,5 % de carbone, on se trouve en plein dans les *aciers sauvages* ;

d) Entre 1,5 % et 0,75 % de carbone, on peut dire que l'on est dans la *zone de transition* entre les *aciers sauvages* et les *aciers extra-durs.*

e) Entre 0,75 et 0,15 % on rencontre les aciers proprement dits qui forment toute une gamme et si l'on empiète un peu sur la zone de transition suivante, on peut encore classer comme le fait M. Deshayes, les carbures de fer 0,15 à 0,05 % comme des aciers extrêmement doux, très peu différents du fer.

On peut donc dire, quand l'on adopte la classification de certains auteurs que les aciers vont de 0,05 % à 0,75 % de carbone.

f) Entre 0,15 % et 0,05 %, nous placerons la zone de transition entre les aciers et les fers.

g) Enfin au-dessous du pourcentage de 0,05 de carbone se trouve le fer.

h) Et à 0 p. % de carbone, c'est-à-dire correspondant à l'axe des *y*, se trouve le *fer chimiquement pur*, inexistant au point de vue industriel et que nous laisserons comme curiosité de laboratoire.

Nous avons représenté par une courbe qui est d'ailleurs, en partie, très voisine d'une ligne droite, la variation de fusibilité des fontes aciers et fers d'après la teneur en carbone.

Sur cette figure, le lecteur verra les zones de transition qui montrent très bien *qu'il est presque impossible* de faire des délimitations bien tranchées en partant de la teneur en carbone et de la qualité correspon-

dante du métal entre les aciers et les fers d'une part et entre les fontes et les aciers d'autre part.

Cela montre les variations que l'on peut trouver en passant d'un auteur à un autre dans les classifications types.

Nous pensons expliquer ces différences, faites de bonne foi, en mettant en évidence notre idée de *zones de transition*. Ces dernières sont à notre avis beaucoup plus près de la réalité que des classifications délimitées par des pourcentages fixes de carbone.

Les délimitations fixes peuvent induire en erreur des esprits peu avertis qui seront toujours portés à admettre *des différences bien tranchées*, en passant d'une dénomination de métal à une autre. (Cela dans le voisinage des chiffres fixes donnés pour les classifications habituelles basées sur la teneur en carbone). *Or les différences bien tranchées n'existent pas*, donc la conception de zones de transition reste plus rationnelle que toute autre.

Étude de la courbe des points de fusion en fonction du pourcentage de carbone (fig. 1).

En principe, on peut indiquer qu'il existe entre les points de fusion des fontes à 4 % de carbone et celui des fers à 0,05 % une différence de plus de 500 degrés centigrades.

Les fontes fondent vers 1050° centigrades.

Les aciers fondent vers 1500° centigrades.

Les fers entrent en fusion à 1600° centigrades.

La courbe que nous avons établie (fig. 1) a, au centre, une allure très proche de la ligne droite, ce qui indique, par conséquent que l'accroissement de température de fusion est sensiblement proportionnel à la diminution du pourcentage de carbone.

En effet, considérons une zone quelconque de la courbe et assimilons-la à une ligne droite.

Les triangles ABC et ADE sont semblables et l'on peut écrire :

$$\frac{DE}{BC} = \frac{AE}{AC}$$

ou

$$\frac{BC - DE}{DE} = \frac{AC - AE}{AE}$$

Ce qui peut s'écrire :

$$\frac{BC - DE}{AC - AE} = \frac{DE}{AE}$$

Si nous appelons α l'angle que fait la partie de la courbe assimilable à une droite avec l'axe des x nous aurons :

$$DE = AE \operatorname{tang} \alpha \text{ ou } \frac{DE}{AE} = \text{constante.}$$

Donc

$$\frac{BC - DE}{AC - AE} = \frac{t_1 - t_2}{c_2 - c_1} = \text{constante.}$$

Cela en appelant (t_1), la température de fusion qui correspond à un pourcentage c_1 de carbone. (Point B) et en appelant (t_2) la température de fusion qui correspond à un pourcentage c_2 de carbone (Point E). Comme conséquence, dans la zone AB que nous avons envisagée, on peut dire que l'augmentation de température de fusion de certains aciers est proportionnelle à la diminution du pourcentage de carbone. « Donc plus un acier est doux et se rapproche du fer, plus il fond difficilement. »

Cette constatation vient appuyer ce que nous savions déjà au sujet de l'influence du pourcentage de carbone sur les températures de fusion des combinaisons fer-carbone.

Renseignements complémentaires sur le carbone

Le carbone a été appelé bien souvent : « corps protéique ».

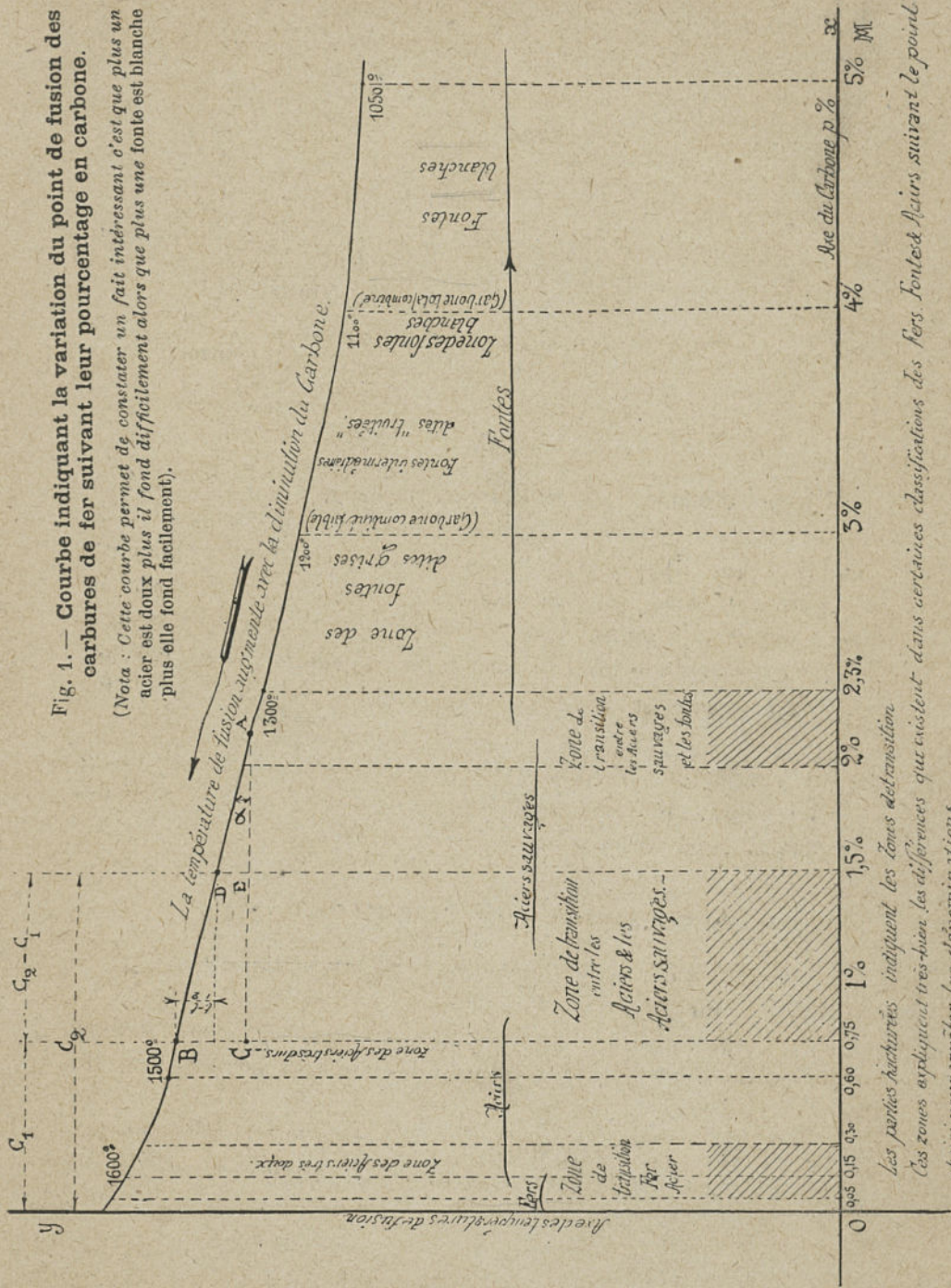
Que veut dire cette dénomination ?

Un « corps protéique » est celui qui se présente sous différents états, sous différentes formes tout en étant identique au point de vue chimique.

Le carbone a même la propriété suivante c'est que sous les différents états que nous avons signalés il possède des qualités physiques bien distinctes et en un mot : nettement tranchées.

Fig. 1. — Courbe indiquant la variation du point de fusion des carbures de fer suivant leur pourcentage en carbone.

(Nota : Cette courbe permet de constater un fait intéressant c'est que plus un acier est doux plus il fond aisément alors que plus une fonte est blanche plus elle fond facilement).



Les parties hachurées indiquent les zones de transition. Ces zones expliquent très-bien les différences qui existent dans certaines classifications des Fers, Fontes & Aciers suivant le point choisi pour arrêter les dénominations.

Tout le monde se rappellera, en effet, que le diamant est une forme du *carbone à l'état pur*, qui résulte d'une « *crystallisation* ».

Nous n'aurons aucune peine pour faire saisir de nos lecteurs la différence notable qui existe entre cette forme élevée du carbone et le *graphite*, par exemple.

La dureté, la couleur, l'éclat....., etc., etc., de ces deux états du carbone sont absolument *incomparables*.

Quand nous disons *incomparables*, nous voulons faire comprendre que les propriétés physiques de ces corps ne sauraient être comparées les unes aux autres.

Quand on considère du *fer industriel* (c'est-à-dire un métal contenant une faible proportion de carbone) on y rencontre ce dernier corps à l'état *dissout*, tout à fait comme l'on trouverait du sucre en dissolution dans un sirop.

Le *carbone dissout* possède une influence primordiale, sur la combinaison qu'il forme avec le fer, au point de vue des qualités mécaniques du métal.

Comme première qualité mécanique nous citerons la *dureté*. En effet, pour qu'un acier au carbone, devienne très dur, il faut *le tremper*.

Mais pour que l'acier prenne la trempe il faut qu'il possède un pourcentage de carbone suffisant.

Le lecteur saisit donc l'influence du carbone sur la dureté du carbure de fer dans lequel il entre.

Nous pourrions même ajouter afin de mettre en évidence cette action du carbone que si nous considérons un acier *très doux, voisin du fer*, et ne prenant pas *la trempe* (1) et si nous arrivons à y incorporer par la

(1) Nous rappelons à nos lecteurs que l'on appelle « *trempe de l'acier* » un traitement thermique, qui consiste :

1° A chauffer le métal à une très haute température (déterminée par la nature même de l'acier).

2° A refroidir brusquement le métal en le plongeant dans un liquide ou dans un courant gazeux à température également déterminée.

La trempe donne à l'acier une très grande dureté mais aussi une grande fragilité. Afin d'éviter que le métal soit trop cassant on emploie un correctif de la trempe qui s'appelle « *le revenu* ».

« *Le revenu dose la trempe* » il consiste à réchauffer l'acier trempé à une tem-

pensée un très faible pourcentage de carbone supplémentaire *nous tomberons sur un acier trempant* et par conséquent sur un métal susceptible de prendre une très grande dureté.

Donc le lecteur retiendra bien ceci : le carbone a comme propriété bien nette d'augmenter la dureté des carbures de fer.

[Ce n'est pas d'ailleurs le seul corps qui agit ainsi, nos lecteurs se rappelleront qu'il en est de même pour « le chrome ». D'où l'emploi des aciers chromés pour la fabrication des roulements à billes, utilisés notamment par l'industrie automobile].

Au sujet du carbone, nous portons encore l'attention sur un fait qui, à notre avis, mérite d'être bien étudié.

Si l'on fait fondre du fer à la très haute température que donne l'arc électrique dans les fours spéciaux, on peut arriver à dissoudre dans le fer des quantités de carbone bien plus importantes qu'aux températures usuellement atteintes en métallurgie.

(Nous citerons à ce propos, les températures habituellement obtenues dans les hauts fourneaux pour fabriquer la fonte en partant du minerai).

Mais par refroidissement une partie du carbone est expulsé, c'est pour cela que sur certaines cassures de fonte, on rencontre du carbone libre qui n'est autre que le carbone dit « graphitique », visible à l'œil nu, alors que le carbone dissout faisant corps avec le métal ne peut être décelé par l'examen de la coupe de ce dernier.

Mais ce n'est pas tout : vers 650 à 750° centigrades, une combinaison chimique en proportion déterminée se forme entre le fer et le carbone.

Il naît un carbure de fer que les métallurgistes ont appelés « cémentite ».

[La cémentite ne saurait être confondue avec le « ciment », corps

pérature plus faible que celle de la trempe et à le refroidir ensuite brusquement à température déterminée.

Le recuit dont on entend parler souvent en métallurgie et en mécanique, ne doit pas être confondu avec le revenu.

« Le recuit est un correctif total de la trempe ». Il consiste à chauffer la pièce en acier à une température un peu supérieure à celle de la trempe et ensuite à la refroidir lentement jusqu'à température ambiante.

riche en carbone, [déchets de cornes..... etc.] que l'on emploie pour l'opération dite de cémentation, traitée dans un chapitre spécial.

Donc ne pas confondre « *cément* » et « *cémentite* ».]

La cémentite a pour formule Fe^3C , comme ce corps persiste dans le carbure de fer malgré l'abaissement de température et après sa formation, on peut en déduire, et c'est à retenir, que dans la fonte le carbone se présente sous 3 états :

- 1° Sous la forme de *carbone dissout* ;
- 2° Sous la forme de *carbone graphitique* ;
- 3° Sous la forme d'élément d'un carbure de fer bien défini au point de vue chimique et appelé le *carbone de la cémentite*.

Nous allons faire une comparaison qui permettra de comprendre et de retenir ce que nous venons d'exposer.

a) Prenons un litre d'eau et dissolvons dans ce liquide une certaine quantité de sucre, 500 grammes, par exemple.

Nous aurons alors formé un *sirop*, dans lequel le sucre n'étant qu'à l'état dissout n'est plus apparent.

L'eau est devenue un peu moins fluide simplement.

b) Chauffons ce sirop et augmentons la dose de sucre de 0 kil. 500 à 1 kil. 850. — Nous arriverons encore à faire une dissolution complète à condition de chauffer le liquide initial.

c) Laissons ensuite refroidir le sirop et nous nous apercevrons qu'un dépôt se forme au fur et à mesure que la température s'abaisse.

Ce dépôt sera d'environ 50 grammes car si nos souvenirs sont exacts l'eau ne dissout pas plus de 1 kgr. 800 de sucre par litre.

Nous sommes en présence de ce que les chimistes appellent « *une liqueur saturée* ».

Revenons maintenant au carbone objet de notre étude, la comparaison, que nous avons précédemment fait entrevoir, repose sur ce que le *sucre déposé* joue le même rôle que le *carbone graphitique* qui se dépose quand on refroidit la fonte dans laquelle il est en dissolution.

En un mot, quand on refroidit un liquide tel qu'un sirop contenant un excédent de sucre *dissout à la faveur d'une certaine température*, cet excédent se dépose dès que la température s'abaisse. Il en est de même pour le carbone graphitique que la fonte laisse déposer dès que

la température ayant permis la dissolution, subit un certain abaissement.

c) Admettons que nous ayons encore pu placer dans notre sirop une certaine quantité d'un autre *corps sucré spécial*, par exemple : *du miel*.

Nous pourrions supposer que ce miel correspondra *au carbure de fer spécial* : Fe^3C , auquel on a donné comme nous savons, le nom de « *cémentite* ».

Cette comparaison (qui est très simple) peut très-bien servir de *système mnémotechnique*, afin de retenir facilement ce que nous venons d'exposer.

On se rappellera ces 4 choses :

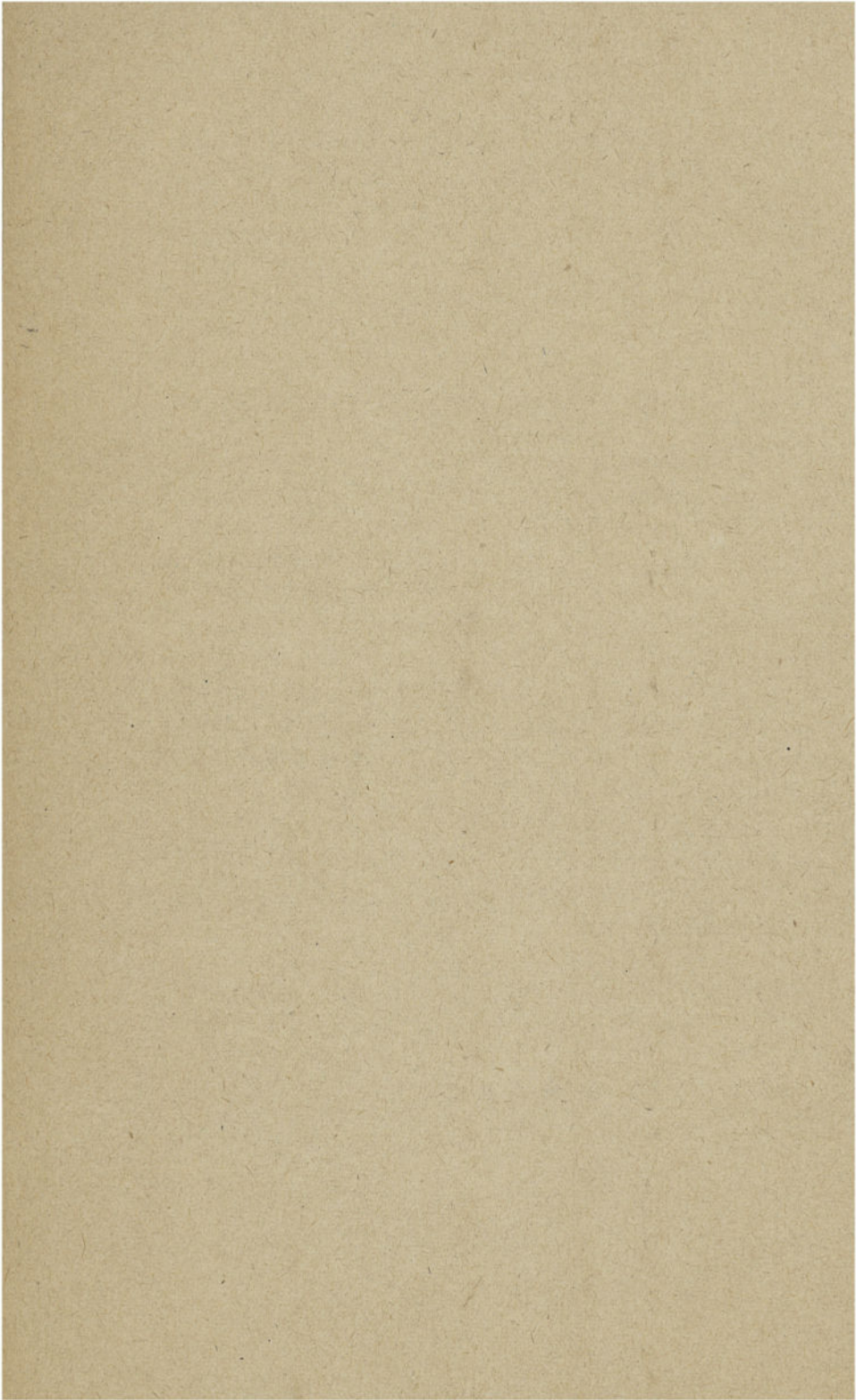
1° *L'analogie du carbone dissout* et celle du *sucré dissout* ;

2° *L'analogie du carbone graphitique* avec le *sucré déposé* à un moment donné ;

3° *L'analogie de la cémentite* (corps carburé spécial) avec le corps sucré spécial que nous avons supposé incorporé au sirop primitif ;

4° *L'analogie des effets dus à l'abaissement de température* (dans les deux cas) au point de vue de l'apparition d'un corps dissout qui se dépose ensuite et qui : d'*invisible* devient *visible*.

Remarquez, cher lecteur, qu'en admettant même, que les chiffres donnés ne soient qu'approximatifs, le résultat final, au point de vue de la méthode mnémotechnique exposée, reste le même : *nous aurons classé dans votre esprit, en parlant de la fonte : l'existence de ces 3 éléments ; savoir : le carbone dissout, le carbone de la cémentite et le carbone graphitique.*



DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE III

ÉTUDE DE LA PRODUCTION DE LA FONTE DANS UN HAUT-FOURNEAU

Nous avons déjà exposé que le point de départ de la fabrication de la fonte résidait dans le minerai de fer. ¶

Si nous considérons, par exemple un oxyde de fer, constituant le dit minerai, nous pourrions avoir à traiter pour fixer les idées, une hématite rouge (Fe^2O^3).

Nous savons que ce corps contient, en principe :

1° du fer, 2° de l'oxygène et 3° un corps terreux appelé la « gangue ».

La gangue qui fait en quelque sorte, corps avec le minerai, peut être d'une composition variable, qui est naturellement fonction de la nature des terrains qui constituent le gisement.

Or nous désirons *obtenir de la fonte*.

Nous devons donc nous arranger pour éliminer du minerai les deux éléments suivants :

1° L'oxygène d'une part.

2° La gangue d'autre part.

La gangue peut être *calcaire, argileuse ou siliceuse*. Supposons-la : *siliceuse* pour notre étude, quitte à envisager plus tard les autres cas.

Les méthodes que nous devons utiliser *pour arriver à éliminer les éléments indésirables* devront être réalisées le plus économiquement possible *afin d'être industrielles*.

(Si nous nous plaçons dans cet ordre d'idées c'est pour faire saisir au lecteur, dès maintenant, le moyen très ingénieux qui consiste à faire des mélanges de minerais à gangues réagissant l'une sur l'autre et dont nous aurons à reparler).

L'oxygène et la gangue sont donc des corps étrangers qu'il va falloir chasser en utilisant des méthodes de production appropriées.

A. — Élimination de l'oxygène

Nous éliminerons l'oxygène par *la méthode dite « de la réduction. »* Il va donc falloir mettre l'oxygène du minerai en présence d'un *corps avide de ce métalloïde, c'est-à-dire d'un réducteur.*

Le *carbone* peut être considéré comme un des principaux agents de réduction industriellement employés.

Cependant, il ne faudrait pas perdre de vue que si le carbone va s'allier à l'oxygène pour le transformer en oxyde de carbone [CO] ou en acide carbonique (CO²), ce carbone sera toujours en présence du *fer naissant* et s'alliera à lui, pour produire simultanément du carbure de fer, *c'est-à-dire de la fonte, dans le cas des hauts fourneaux* qui va nous occuper.

Digression : Quelques mots sur l'oxyde de carbone et sur l'acide carbonique. — Puisque nous allons être amené à parler de ces deux gaz, nous devons à nos lecteurs, quelques explications complémentaires qui vont leur montrer combien le CO (oxyde de carbone) est différent du CO² (acide carbonique).

L'acide carbonique (CO²) ne doit en aucun cas être confondu avec l'oxyde de carbone (CO). — Ces deux gaz dont les formules sont si peu différentes possèdent cependant des propriétés chimiques et physiques bien tranchées.

Il en est de même au point de vue physiologique : les effets de ces deux gaz *sur l'organisme sont totalement différents.*

L'acide carbonique. — C'est ce corps gazeux, inodore, mélangé à l'air, qui nous entoure.

Nous vivons avec lui. Il est *expiré* par nos poumons en même temps que de la vapeur d'eau.

Il n'est donc pas toxique et si nous insistons sur ce point, *c'est qu'il n'en sera pas de même pour son cousin germain..... nous avons nommé l'oxyde de carbone.*

L'acide carbonique n'est capable de devenir gênant qu'au moment où son pourcentage devient trop élevé dans un certain volume, où il est pour ainsi dire emprisonné et où des personnes sont assujetties à respirer.

Il provoque alors *l'asphyxie par le manque d'air* dont il tient la place.

Sa densité par rapport à l'air est de 1,529.

L'acide carbonique est donc plus lourd que l'air ; et alors qu'un litre d'air pèse 1,293 gr., un litre d'acide carbonique pèse 1,977 gr. dans les mêmes conditions de température et de pression.

Sur certaines parties du globe il existe des émanations d'acide carbonique, elles restent au ras du sol.

Nous citerons dans cet ordre d'idées, en Italie la « *grotte du chien* » qui est funeste aux animaux *bas sur pattes* justement en raison de la stagnation dans le voisinage du sol d'une nappe de CO^2 .

L'homme ne doit sa supériorité sur le chien, dans la grotte déjà nommée qu'en raison de la « *cote élevée* » *de son orifice d'aspiration*, si l'on peut ainsi s'exprimer.

Nous avons voulu par ce terme... si souvent employé, *en matière de technique automobile* désigner ainsi la bouche du touriste que l'amour des voyages amènera vers ce lieu si inhospitalier pour les petits animaux. Que les Automobilistes qui nous liront..... *et dans le cœur desquels un petit moteur sommeille toujours*, veuillent bien nous pardonner de faire ainsi vagabonder leur esprit.....

En résumé, le lecteur retiendra ces caractéristiques de l'acide carbonique :

- 1° Il est plus lourd que l'air ;
- 2° Il est incombustible (c'est un résidu de combustion) ;
- 3° Il n'agit sur l'organisme que comme un *gaz inerte* provoquant l'asphyxie par manque d'air.

L'oxyde de carbone. — L'oxyde de carbone (CO) est un gaz toxique extrêmement dangereux.

Il passe *par exosmose* à travers la fonte portée au rouge.

Il cause chaque hiver, des empoisonnements sournois en raison de l'installation défectueuse de certains appareils de chauffage.

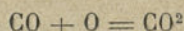
Sa propriété d'exosmose à travers la fonte chauffée fortement (*et dont les pores peuvent être considérés comme dilatés*) s'exerce à travers les poêles d'appartements et y crée une atmosphère dangereuse si l'on n'y prend garde.

La densité de l'oxyde de carbone est de 0,967 par rapport à l'air.

Il est donc plus léger que ce dernier et alors que le litre d'air pèse 1,293 gr., le litre d'oxyde de carbone pèse 1,250 gr. dans les mêmes conditions de température et de pression.

L'oxyde de carbone est un gaz combustible. Il brûle avec une flamme bleue en provoquant ce que les chimistes appellent *la réduction*.

La combustion de l'oxyde de carbone se fait d'après la réaction chimique :

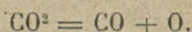


Le résidu de cette combustion est justement, l'*acide carbonique* précédemment étudié.

Nous aurons souvent à parler de cette réaction qui est à retenir dès maintenant.

En résumé : L'oxyde de carbone est un gaz toxique et très dangereux. Il est plus léger que l'air auquel il se mélange.

L'oxyde de carbone CO, mis en présence de l'oxygène dans des conditions de température appropriées, brûle et donne comme résidu de combustion de l'acide carbonique CO² gaz incombustible. Autre chose importante à retenir encore, car elle nous servira plus tard, au moment où nous aborderons d'autres questions ; à *très haute température, la réaction inverse de la précédente se produit et on a :*



C'est la « *dissociation* » qui en partant de l'acide carbonique *donne de l'oxyde de carbone.*

En métallurgie, le jeu de ces réactions intervient, *donc le lecteur doit bien les apprendre dès maintenant, s'il ne les sait déjà.*

Revenons à présent [après cette digression qui a fait connaître ou qui a rappelé au lecteur les différences entre les deux gaz CO et CO^2], à la fabrication de la fonte.

Dans le haut-fourneau (comme nous le verrons au moment où nous étudierons les réactions chimiques correspondantes à la production de la fonte) il se produira de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone.

L'oxyde de carbone d'une part, et le carbone d'autre part, agiront comme agents de réduction pour concourir à l'élimination de l'oxygène contenu dans le minerai et par conséquent à la libération du fer.

De plus, ce fer s'alliant au carbone, donnera la fonte que nous nous proposons d'obtenir.

B. — Élimination de la gangue entourant le minerai.

La gangue, comme nous l'avons déjà fait entrevoir, peut être différente suivant les endroits du sol où le minerai peut être exploité.

Une gangue très commune est la *gangue siliceuse* (sable) cependant il peut y en avoir de calcaires, voire même d'argileuses.

Les Ingénieurs-Métallurgistes ou les Chimistes attachés aux usines métallurgiques devront se préoccuper, avant de traiter un minerai, de déterminer la composition de sa gangue.

Suivant la nature de cette dernière, ils placeront dans le haut-fourneau un autre corps appelé *fondant* qui sera spécialement choisi pour rendre la gangue fusible.

Une *gangue siliceuse* sera traitée par un *fondant calcaire* et donnera un *silicate de chaux fusible*, qui, plus léger que la fonte se séparera facilement en surnageant le bain de métal en fusion.

Le silicate de chaux est appelé « *laitier* », en terme de métallurgie.

Nous devons dire, pour être exact, que cette appellation est générale. Elle s'applique à la *combinaison de la gangue et du fondant*, quelle que soit cette gangue, quel que soit le fondant et enfin quel que soit le résultat de leur action réciproque.

En résumé, nous porterons l'attention du lecteur sur ce point :

A telle gangue de minerai correspond tel fondant, de même qu'en agriculture à tel terrain correspond tel engrais et pas tel autre.

CHAPITRE IV

LE HAUT-FOURNEAU

Son but. — Quelques généralités. — Description d'un haut-fourneau. — Les installations annexes.

Son but. — Le haut-fourneau a pour but de *produire de la fonte en partant du minerai de fer.*

Le métal ainsi obtenu, porte le nom de *fonte de 1^{re} fusion*, par opposition à la *fonte dite de 2^e fusion* qui est obtenue dans des appareils de moindre importance, appelés *cubilots*.

Quelques généralités. — D'une façon générale on peut dire que le haut-fourneau *permet de placer le minerai en contact avec le carbone dans des conditions de température telles que la réduction puisse se faire.*

Comme, en principe, les minerais traités peuvent être considérés comme des oxydes de fer, *la réduction consistera à enlever l'oxygène pour obtenir un mélange de carbures de fer ou fonte.*

Le haut-fourneau permet encore, par des mélanges appropriés, la séparation de la robe terreuse ou sableuse qui entoure le minerai de par l'origine de ce dernier.

Nous rappelons que cette matière terreuse s'appelle la *gangue* et qu'on désigne sous le nom général de *fondant* les produits choisis au point de vue de leur action chimique pour effectuer sa *liquation*. La *gangue* est attaquée par le *fondant* et donne un résidu appelé : *laitier*.

Description du Haut-Fourneau.

(suivre figure n° 2)

Le haut-fourneau se compose d'une grande cavité formée de deux troncs de cônes accolés par leur plus grande base.

En allant du haut en bas, nous rencontrons, successivement :

1° *Le gueulard*, c'est la partie (A), ouverture par laquelle se fait le chargement du minerai, du coke, et du fondant.

2° *La cuve* (B), est constituée par la cavité tronc conique supérieure.

3° *Le ventre* (C), c'est la partie la plus large du haut-fourneau. C'est la zone de raccordement des deux troncs de cône précités.

4° *Les étalages* (D), sont constitués par la partie du tronc de cône inférieur la plus voisine du ventre.

5° *L'ouvrage* (E), se trouve à la partie inférieure du même tronc de cône. C'est à hauteur de l'ouvrage que s'effectue le soufflage par le moyen de sortes de tubes appelés *tuyères*. (Il y passe par conséquent de l'oxygène et de l'azote, d'où l'explication de la marque : $O + Az$ (figure 4) à la hauteur des tuyères).

Les tuyères reçoivent l'air des machines soufflantes. — (Voir figure 9, page 50).

6° *Le creuset* (F), est la partie basse de l'appareil où se réunit la fonte produite.

Le laitier surnage sur le bain de fonte (car il est plus léger que cette dernière) et il peut sortir par des trous spéciaux ménagés à cet effet, à une certaine hauteur. (Nous n'avons pas représenté la sortie du laitier

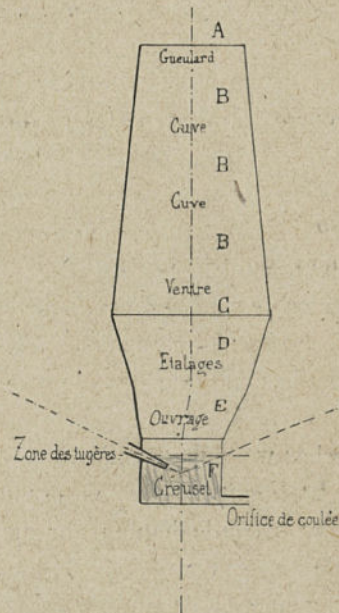


Fig. 2. — Théorie du haut-fourneau.

Dénominations diverses des parties de l'appareil.

sûr nos schémas, mais on peut l'apercevoir figure 44 (en X) haut-fourneau de Senelle-Maubeuge).

Le trou de coulée *de la fonte* est placé tout à la partie inférieure du haut-fourneau. Le trou de coulée *du laitier* est placé un peu plus haut.

Installations annexes.

Le haut-fourneau est complété par des installations annexes.

Nous citerons :

1° *Une batterie de deux monte-charge* marchant, soit à vapeur soit à air comprimé, amenant les wagonnets à la hauteur du gueulard.

Ces wagonnets sont munis de systèmes de basculement, afin de réduire à minima le temps de la manœuvre. (Voir le wagonnet figure 10 et lire la légende, page 54).

Dans tous les cas, le lecteur même peu initié aux choses de la *manutention mécanique*, comprendra combien cette manière de procéder est intelligente.

Pas de pertes de temps dans des chargements et des déchargements successifs ; quelquefois même *le wagonnet a été chargé à la mine* et n'est basculé que dans le gueulard, placé à 25 ou 30 mètres au-dessus du sol.

Les wagonnets amènent soit le minerai, soit le coke, soit le fondant.

2° *Une plate-forme*. — Cette plate-forme (que l'on aperçoit figure 10), se trouve à la hauteur du gueulard ; les monte-charge la desservent et elle porte bien souvent des rails pour faciliter le roulement des wagonnets.

Sur la plate-forme se trouvent différents appareils de manœuvre, par exemple, pour aider au déchargement rapide des wagonnets et ouvrir le gueulard qui est toujours obturé à dessein, pour des motifs que le lecteur comprendra par la suite. — (Récupération des gaz).

3° Des appareils : *Récupérateurs de chaleur*, dits : « Appareils à chauffer le vent ».

A la sortie du gueulard, se trouvent des gaz chauds et *en partie combustibles*, ces gaz finissent de se brûler dans d'immenses récipients cylindriques où sont placées des chicanes en maçonneries réfractaires.

Quand ces maçonneries sont réchauffées on envoie les gaz dans d'autres récupérateurs et les machines soufflantes refoulent l'air dans l'appareil qui est chaud.

La température de l'air comprimé sera donc très augmentée et on l'enverra ensuite aux tuyères.

D'où gain de combustible et accélération du travail.

4° Une batterie de machines soufflantes (dont une de rechange en cas d'avarie).

Ces machines soufflantes envoient le vent aux tuyères sous pression de 1 ou 2 atmosphères. (Voir le schéma de la figure 9 pour bien comprendre le rôle de ces machines).

5° D'une série de canalisations (dont plusieurs ont des diamètres très importants) munies de vannes appropriées.

Ces vannes donnant la faculté d'envoyer, *par inversion*, soit les gaz chauds dans les récupérateurs froids, soit l'air froid, à réchauffer, dans les récupérateurs chauds et ainsi de suite. Dans ces canalisations sont intercalés des épurateurs afin de recueillir les poussières des gaz chauds (voir figure 10 et légende).

6° Les machines soufflantes dont nous venons de parler, seront évidemment actionnées par des moteurs, soit à vapeur, soit à gaz.

Les moteurs utilisant les gaz des haut-fourneaux sont assez répandus.

On supprime ainsi un intermédiaire qui est la chaudière à vapeur.

Inutile de dire au lecteur (qui le sait probablement déjà), qu'un haut-fourneau doit, une fois en route, travailler d'une façon continue. Il ne faut pas d'arrêt de fabrication, car la mise en feu d'un appareil de cette importance représente une dépense considérable qui se chiffre quelquefois par des centaines de mille francs.

Les Ingénieurs qui étudient ces installations ont bien soin de prévoir des machines à vapeur [ou des moteurs à gaz] de secours pour ne pas avoir d'arrêt dans la marche des machines soufflantes ou installations accessoires à la suite d'un accident aux moteurs en service.

7° Souvent des installations hydrauliques telles que compresseurs hydrauliques ou pompes foulantes envoyant l'eau sous pression dans des accumulateurs hydrauliques sont adjointes aux hauts-fourneaux. Il y aura naturellement dans ce cas des palans hydrauliques pour faire

manœuvrer les monte-charges et les appareils dont la mise en marche serait trop pénible pour les hommes.

8° *Un hall de coulée*, pour permettre de faire cette opération par tous temps.

9° *Un emplacement nommé « Crosier »* où l'on accumulera le « laitier » résidu de production.

Les personnes qui ont voyagé dans l'Est de la France, ont souvent remarqué, par exemple dans les environs de Nancy, de véritables collines formées par le laitier.

10° A toutes ces installations s'ajoutent quelquefois *une briquetterie* qui utilise le laitier pour le moulage de briques employées en matière de construction.

11° *Un laboratoire chimique* est adjoit à la batterie de haut-fourneaux afin de permettre l'analyse des minerais et des gaz produits pendant la fabrication, cette analyse constitue, en un mot, « *la pierre de touche* » de la bonne marche des opérations.

Nos lecteurs comprendront mieux l'importance des renseignements que nous leur donnons dès qu'ils auront lu la marche de la fabrication de la fonte et notamment la détermination de l'*indice* des hauts-fourneaux. — Ils se rendront compte également de ce que la conduite de semblables appareils n'est précisément pas une bagatelle !

CHAPITRE V

ETUDE DU FONCTIONNEMENT D'UN HAUT-FOURNEAU

Entrée en matière. — Etude des Etages théoriques. — Transformation des gaz montants. — L'indice des hauts-fourneaux. — Transformation des charges descendantes.

Entrée en matière. — Nous allons exposer dans ce chapitre ce que les métallurgistes appellent les *étages théoriques* d'un haut-fourneau.

Cela nous permettra une étude très méthodique du fonctionnement.

La division en zones permet de classer d'une façon assez nette, non seulement les transformations subies par les gaz montants, mais encore les réactions qui se produisent entre les gaz et le minerai descendant, jusqu'à sa transformation finale en fonte de fer.

Nous sommes donc amenés à diviser notre étude en trois parties :

- a) Etude des étages théoriques d'un haut-fourneau.
- b) Transformations des gaz montants.
- c) Transformations des charges descendantes.

a) Etude des Etages théoriques du Haut-Fourneau (voir figure n° 3).

[*Au point de vue de leurs dénominations et de leurs fonctions générales*].

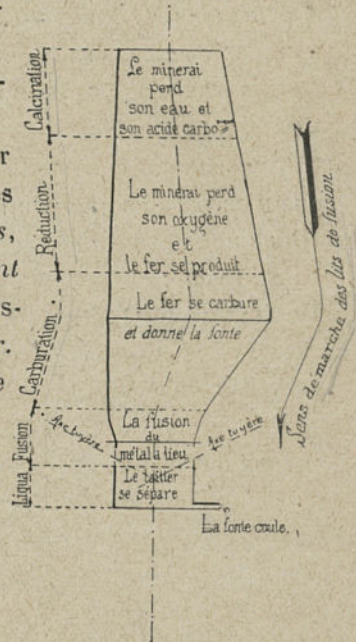


Fig. 3. — Théorie du haut-fourneau.

Transformations successives des charges descendantes. (Minerai, coke et fondant).

- 1° Le premier tiers supérieur de la cuve s'appellera :
« *Etage de calcination et de préparation du minerai* ».
- 2° Les deux autres tiers (environ) de la cuve s'appelleront :
« *Etage de réduction du minerai* ».
- 3° Le voisinage « *du ventre* » et l'origine des « *étalages* » prend le nom d' « *Etage de surchauffage et de carburation* ».
- 4° L'ouvrage correspond à :
l' « *Etage de Fusion* ».
- 5° Le creuset correspond à :
l' « *Etage de liquation* ».

b) Transformation des gaz montants (voir figure n° 4).

Nous allons traverser les étages de bas en haut.

1° *Etage de fusion*. — Dans la zone de l'ouvrage arrive l'air provenant des machines soufflantes.

L'air étant composé en majeure partie d'oxygène et d'azote.

(Ceci est dit, en laissant de côté les gaz tels que l'*Argon*, l'*Hélium*, qui rentrent dans la composition de l'air mais en quantités si faibles que nous n'en parlons que pour mémoire).

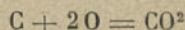
Donc nous avons dans le « *plan des tuyères* » où se fait l'arrivée générale du vent :

De l'oxygène (O) et de l'Azote (Az) en majeure partie.

[Nous désignons par (Az) et (O) les symboles chimiques de l'Azote et de l'Oxygène].

L'oxygène va, par la force des choses, se trouver en présence de morceaux de coke incandescents dans la zone des tuyères.

Sous l'influence de l'air, le carbone du coke va donner :



(Réaction déjà connue de nos lecteurs)

car l'air est en excès dans la zone des tuyères puisque c'est la zone de la *nappe de vent*.

L'azote de l'air traverse également la couche du coke. Mais ce gaz est, en principe, *inerte*, il commencera par nuire dans une certaine mesure, car il faut naturellement qu'il s'échauffe (au détriment des corps

qui l'environnent) à moins qu'il ne le soit déjà. Il donnera ensuite avec le carbone un produit appelé cyanogène (C.Az) que nous ne citons que pour mémoire en raison de son rôle *secondaire* eu égard à l'action bien plus importante des autres éléments.

En résumé : *retenons ceci* (tout en suivant la figure n° 4) :

Dans la zone des tuyères nous avons :

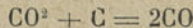
O et Az

et après la première couche de coke :

O, Az et CO^2 .

2° *Zone de surchauffage et de carburation*. — La colonne de gaz ascendante traversant la zone de surchauffage et de carburation du minerai va, à son tour, se carburer et la proportion d'oxygène restant, devant de moins en moins grande par rapport au carbone traversé, il se produira la transformation complète de l'oxygène en CO .

A son tour, en présence du carbone, l'acide carbonique se carburerera et donnera de l'oxyde de carbone en vertu de l'équation :



(« Réaction des gazogènes » (1) sur lesquels nous reviendrons plus tard à propos de l'acier Martin).

Cet oxyde de carbone CO , se produit *car il y a du carbone en excès* par rapport à l'acide carbonique, tandis qu'avant dans les *étalages*, il se

(1) Nous avons donné à dessein à la réaction : $\text{CO}^2 + \text{C} = 2\text{CO}$ le nom de « Réaction des gazogènes » parce qu'elle est bien spéciale à la marche de ces appareils où le carbone est en excès. Cette dénomination la classera bien dans l'esprit du lecteur. (Nous étudierons d'ailleurs les gazogènes à propos de l'Acierie Martin, il est donc des plus utile de connaître cette réaction).

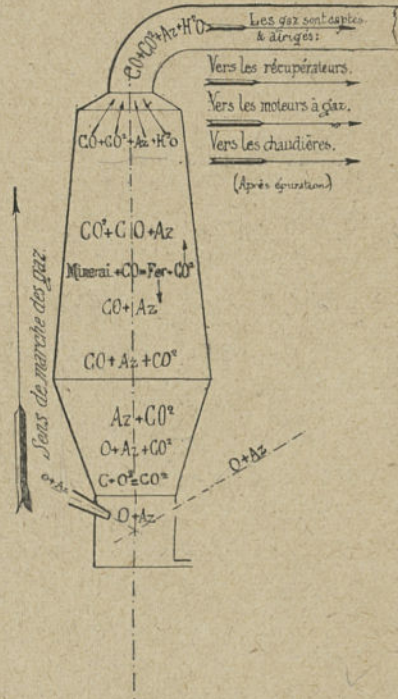
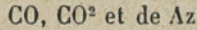


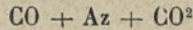
Fig. 4. — Théorie du haut-fourneau.

Transformations successives de la vague des gaz montants.

produisait de l'acide carbonique parce qu'il y avait *de l'air en excès* par rapport au carbone du coke en présence. Donc finalement la vague de gaz montante se composera de :



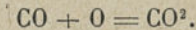
ce que nous avons représenté figure 4 par :



et nous avons cela à la sortie de l'étage de surchauffage et de carburation.

3° *Etage de réduction.* — Quand nous allons aborder l'étage de réduction, l'oxyde de carbone va jouer un rôle très important, il va être brûlé par le minerai.

En effet, le minerai étant un oxyde de fer, cède son oxygène à l'oxyde de carbone qui se transforme d'après l'équation suivante :



Il se produit la combustion de l'Oxyde de carbone grâce à l'oxygène du minerai, qui du même coup se trouve « réduit » suivant l'expression des chimistes.

La marche du haut-fourneau sera d'autant meilleure que les gaz sortants contiendront plus d'acide carbonique CO² et moins de CO, car, ne l'oublions pas, le haut fourneau a pour fonction principale de réduire l'oxyde de fer pour donner du fer (qui, en présence du coke donne la fonte : Carbure de fer).

Comme l'oxyde de carbone est un puissant agent de réduction, le rendement du haut-fourneau sera d'autant meilleur que l'agent de réduction aura mieux travaillé...

Quel indice en aurons-nous ?

L'indice c'est la proportion que l'analyse chimique des gaz du gueulard donne d'une plus grande quantité de CO² par rapport à CO.

C'est l'indice des hauts fourneaux.

a) *Mauvaise marche.* — Quand il y a, au gueulard, en poids, une proportion, d'acide carbonique qui est plus petite que les 50 centièmes de la proportion d'oxyde de carbone, les métallurgistes considèrent que la marche du four est mauvaise.

L'indice du haut-fourneau est alors :

$$\frac{\text{CO}^2}{\text{CO}} < (1) 0,50$$

(mauvaise marche)

b) *Marche satisfaisante.* — Quand il y a, au gueulard, en acide carbonique, plus des 50 centièmes de l'oxyde de carbone et moins des 75 centièmes (toujours en poids), on considère la marche de l'appareil comme convenable ou normale.

Cela peut s'exprimer ainsi :

$$0,75 > \frac{\text{CO}^2}{\text{CO}} > 0,50$$

(marche normale)

c) *Marche très avantageuse.* — Enfin les métallurgistes considèrent que si l'on a une proportion d'acide carbonique qui dépasse les 75 centièmes du poids de l'oxyde de carbone la marche est très satisfaisante.

Donc dans ce cas l'indice des hauts-fourneaux sera tel que :

$$\frac{\text{CO}^2}{\text{CO}} > 0,75$$

(marche très satisfaisante)

Le lecteur réfléchira (en lisant ce qui concerne l'indice d'un haut fourneau) à ce que nous avons dit, dans les installations annexes au sujet du laboratoire de chimie. *Son utilité apparaît, car les analyses de gaz doivent être faites soigneusement. Elles guident la fabrication.*

D'ailleurs les techniciens qui s'occupent d'installations et d'organisation d'Usines, s'accordent de plus en plus sur la nécessité de l'existence de *laboratoires d'essais.*

Il y a là une règle qui tend à devenir générale.

Elle ne s'applique donc pas seulement, aux Usines Métallurgiques pour lesquelles *les laboratoires sont absolument indispensables.*

c) **Transformation des charges descendantes ou Etude de la marche descendante du minerai dans un haut-fourneau.** — Alors

(1) Le signe < veut dire « plus petit que » ou « plus grand que » sa pointe étant dirigée du côté de la quantité la plus petite et son ouverture du côté de la plus grande. C'est un signe utilisé en arithmétique et en algèbre.

que les gaz forment une colonne fluide montant à raison d'une vitesse qui est dans les environs de *1 mètre à la seconde* (et même plus) le minerai, le charbon et le fondant descendent à une vitesse bien moindre qui est de l'ordre de :

1 mètre par heure.

la vitesse de descente est de $\frac{1}{3600}$ de la vitesse de montée des gaz (1).

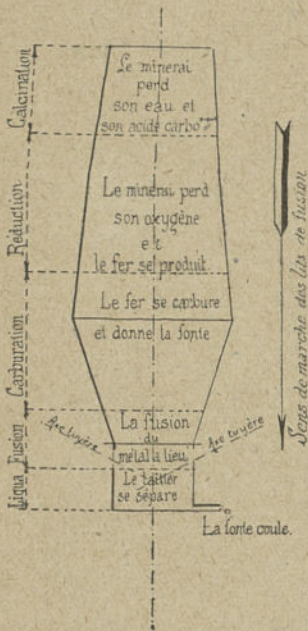


Fig. 3 bis. — Théorie du haut-fourneau.

Transformations successives des charges descendantes.
(Minerai, coke et fondant).

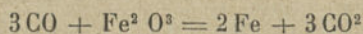
Ces nombres ne sont naturellement que des *nombres approximatifs*. Ils ont cependant un avantage, celui d'être retenus très facilement par les personnes qui désirent s'instruire et qui veulent avoir une idée de la différence entre les deux séries de phénomènes. — Le minerai descendant à 1 mètre par heure, pour un haut-fourneau de 24 mètres de hauteur environ, la charge faite un jour à 8 heures du matin par exemple n'apparaîtra sous forme de fonte que le lendemain à la même heure approximativement.

1° Etage de calcination et de préparation du minerai. — *L'Etage de calcination et de préparation du minerai est aussi l'Etage de dessiccation.*

Le minerai commence, en effet, par se dessécher, il perd donc son eau, ses matières bitumineuses et son acide carbonique CO^2 .

2° Etage de réduction. — Au fur et à mesure qu'il descend il atteint la *zone de réduction*, c'est-à-dire vers le bas de la cuve (2).

Dans la cuve, du fer va se former en vertu de la réaction :



(1) Puisqu'il y a : $60'' \times 60 = 3.600$ secondes, dans une heure.

(2) Et au bas de la cuve, nous avons vu qu'il y avait de l'oxyde de carbone (CO).

C'est l'oxyde de carbone qui, comme nous l'avons déjà étudié, va transformer le minerai Fe^2O^3 en *fer* (Fe) et il y aura dégagement de CO^2 (acide carbonique).

Cette réaction est très importante, c'est pour ainsi dire le mécanisme chimique principal du haut-fourneau si on peut ainsi s'exprimer.

3° Etage de carburation et de surchauffage. — Mais le *fer en fusion* descendant rencontre du *coke* et se transforme en fer carburé ou *fonte*, et en même temps il s'incorpore dans la fonte d'autres matières étrangères qu'il faudra plus tard éliminer pour la purifier.

Nous voulons parler du *silicium* (provenant de la silice) (1), du *soufre* (provenant du charbon). Le soufre est à éviter. Il faut tâcher d'avoir des matières premières non sulfureuses.

La carburation du fer se produit donc à l'étage dit « de « *carburation* », c'est dans le *voisinage du « ventre »* et à l'origine des « *Étalages* » (figure 2, page 25).

Donc à la sortie de l'étage de carburation nous avons de la fonte.

Cette fonte en fusion tombe ensuite peu à peu dans l'espace qui s'appelle l'« *ouvrage* » où il règne une très haute température.

4° Etage de fusion. — L'*ouvrage* s'appelle comme étage théorique l'*Étage de fusion*, grâce à la haute température qui y règne, la fonte continue à se liquéfier.

5° Etage de liquation. — Enfin la fonte arrive dans le *creuset* ou *étage de liquation* où va se faire la séparation du laitier et du métal par différence de densités.

C'est-à-dire que le *laitier* qui est *plus léger* que la fonte *surname* le bain et s'écoule par des trous spécialement ménagés à cet effet à une certaine hauteur. — *Quant à la fonte*, elle s'écoule par le trou de coulée qui est à la partie basse du haut-fourneau.

d) La coulée de la fonte en 1^{re} Fusion. — La fonte sortant des hauts-

(1) La *silice* dont nous parlons ici provient de la *gangue* du minerai *silicieux* ou du *fontant silicieux* quand la gangue du minerai est calcaire.

fourneaux est envoyée dans des moules, où elle prend une forme de parallépipède rectangle (approximativement).

La gueuse de fonte. — Chaque morceau ainsi fabriqué prend le nom de *gueuse*.

La gueuse de fonte a, *environ*, 0^m,550 à 0^m,600 de longueur et 0^m,190 à 0^m,200 de largeur. Des morceaux plus petits s'appellent « *gueusets* ». (Voir Acier Martin).

Les gueuses obtenues par le moyen du haut-fourneau constituent la *fonte de 1^{re} fusion*.

AVANTAGES DE LA 2^e FUSION

Cette fonte contient des impuretés qui s'éliminent quand on la fait refondre. On obtient alors la fonte de 2^e fusion.

Ce qui fait préférer la 2^e fusion c'est que :

1^o Les hauts-fourneaux sont des *appareils peu obéissants*, on n'arrive pas avec eux à avoir des fontes de composition voulue.

2^o La fonte venant des hauts-fourneaux est produite d'une façon assez lente.

La deuxième fusion permet, en traitant les gueuses de première, fusion et par des mélanges appropriés placés dans un appareil dit « *cubilot* » :

1^o *D'obtenir un métal de composition sensiblement déterminée.*

2^o *D'éliminer certains éléments nuisibles* tels que le soufre. — Le soufre passe dans le laitier, le fondant calcaire que l'on met dans l'appareil dit « *cubilot* » permet au soufre de s'éliminer sous forme de sulfure de calcium.

Mais, à notre avis, il est préférable d'avoir des fontes *très peu sulfureuses ou pures de ce métaltoïde*, car il ne s'élimine jamais complètement. Nous l'avons déjà dit et le répéterons.

C'est d'ailleurs sur ce que nous pensons que doit être basée *l'idée très arrêtée des métallurgistes à ce sujet*; autrement, il n'y aurait aucune raison de ne pas employer sur une plus grande échelle des fontes contenant un peu de soufre. Or, de l'avis des métallurgistes elles sont à rejeter.

3° *De purifier la fonte au point de vue des gaz, créateurs de soufflures* (1).

Dans les hauts-fourneaux, on se trouve en présence de fontes très chargées en gaz, donc les soufflures sont à redouter en première fusion.

4° *De fondre beaucoup, en très peu de temps.*

e) **Emploi direct de la fonte des hauts-fourneaux.** — La fonte de première fusion n'est pour ainsi dire employée que pour quelques objets grossiers. (Tuyaux de descente des eaux, marmites... etc... etc...)

Cependant même les pièces grossières tendent-elles, de plus en plus, à être faites en fonte de deuxième fusion par les *procédés de moulage mécanique*.

Pour le moulage des pièces mécaniques soignées (par exemple : cylindres de moteurs d'automobiles, pistons, etc., etc.), il est bien entendu que l'on utilise de la fonte de deuxième fusion.

(1) On appelle « *soufflures* » des trous qui peuvent se produire dans la fonte au moment de la coulée du métal par suite de l'emprisonnement des gaz qui se dégagent. Le terme de « *soufflure* » est général et s'applique à tous les métaux fondus.

CHAPITRE VI

RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES SUR LES HAUTS-FOURNEAUX

Manière dont on envoie le vent pour le soufflage
Influence de la température de l'air insufflé
Description schématique d'un appareil à chauffer le vent

Ce qui se faisait avant. — Les inconvénients de l'ancienne méthode

Les premiers hauts-fourneaux étaient soufflés à l'air froid.

De plus, la partie supérieure de l'appareil était ouverte aux gaz résiduels qui s'échappaient dans l'atmosphère en pure perte.

Si on veut se donner la peine de réfléchir à la haute température qui doit régner dans un appareil capable de produire de la fonte en fusion (voir graphique figure 1) on ne sera pas en peine pour prouver combien la marche primitive était peu rationnelle, tant au point de vue économique qu'au point de vue du rendement horaire.

En effet : d'abord la fonte rentre en fusion entre 1050° et 1300° (voir figure n° 1) donc, nous pouvons déjà concevoir qu'il règne au moins 1050° dans certaines zones du haut-fourneau.

Ce nombre ne peut être envisagé que comme une limite inférieure de la haute température qui doit y régner, cela sans mesure, ni calcul.

Nous allons voir que nous sommes bien loin de la réalité par cette modeste hypothèse. — Les métallurgistes qui ont voulu se rendre compte des températures régnantes sont arrivés, par simple calcul, à prouver que théoriquement la combustion du coke devait donner près

de 3 000°. Il est vrai que leur détermination devait être mise au point du fait de l'abaissement de température dû à la formation de l'oxyde de carbone en partant de l'acide carbonique.

Cette température théorique voisine de 3 000°, doit être corrigée de suite, car les phénomènes sont bien plus complexes qu'une simple production d'acide carbonique !!

Presque aussitôt que l'acide carbonique est formé, il se retransforme en présence du carbone pour donner de l'oxyde de carbone (1), cette transformation entraîne une baisse de près de 1 100° centigrade.

On voit donc, que vers la zone où commence la réduction du minerai il règne près de 1 900° au lieu de 3 000° puisque : $3\,000^\circ - 1\,100^\circ = 1\,900^\circ$.

Des expériences faites avec des thermomètres électriques (dits « pyromètres ») viennent corroborer ces chiffres, puisque cette température a pu être constatée « de visu ».

(Pour être exact, nous dirons qu'on a constaté près de 1 950°).

Le lecteur va donc réfléchir à ces choses fort intéressantes :

1° Le fait que l'on envoie continuellement de l'air froid dans un haut-fourneau est une cause forcée d'abaissement de température, car il faut que l'air se réchauffe au détriment de matières qui l'entourent, d'où dépense de combustible.

2° Mais les gaz qui sortent du gueulard sont également à une température assez élevée.

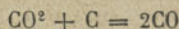
3° De plus, une partie de ces gaz sont encore combustibles, puisqu'ils contiennent de l'oxyde de carbone : CO , qui l'est éminemment.

Méthode actuelle. — On conçoit très bien, que les recherches des métallurgistes les aient conduits à utiliser les calories contenues dans les gaz inertes sortant du gueulard et celles que ne manqueraient pas de donner les gaz non encore brûlés.

D'où l'idée des récupérateurs que nous verrons plus loin.

Il n'y a pas besoin de sortir de Saint-Cyr, comme disait un de nos

(1) Cette transformation n'est autre que la « réaction des gazogènes » :



sur laquelle nous avons déjà porté l'attention du lecteur.

ouvriers... pour arriver à ce que nous intitulerons : *l'influence de la température de l'air insufflé.*

Influence de la température de l'air insufflé.

En réfléchissant un peu on déduira naturellement :

1° Que le chauffage du vent va *diminuer le prix de revient* de la tonne de fonte, *en tant que combustible utilisé* pour la produire ;

2° Que le chauffage du vent *diminuera le prix de revient* de la tonne de fonte en tant que *main-d'œuvre* utilisée pour la fabriquer, car l'opération sera accélérée ;

3° Qu'une *augmentation de production notable* devra résulter de l'emploi du vent chauffé, *car la température moyenne régnante sera plus élevée.* — La fonte rentrera plus vite en fusion, les matériaux descendront plus vite.

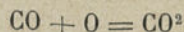
Étude schématique des appareils récupérateurs ou appareils à chauffer le vent

Nous diviserons ces appareils en 3 catégories : — [Nous en ferons une étude schématique afin que le lecteur ait au moins une idée des récupérateurs qui ont rendus à notre avis, un si grand service par le perfectionnement qu'ils constituent].

- 1° Les récupérateurs Cowper ;
- 2° Les récupérateurs Whitwell ;
- 3° Les récupérateurs Bœcker.

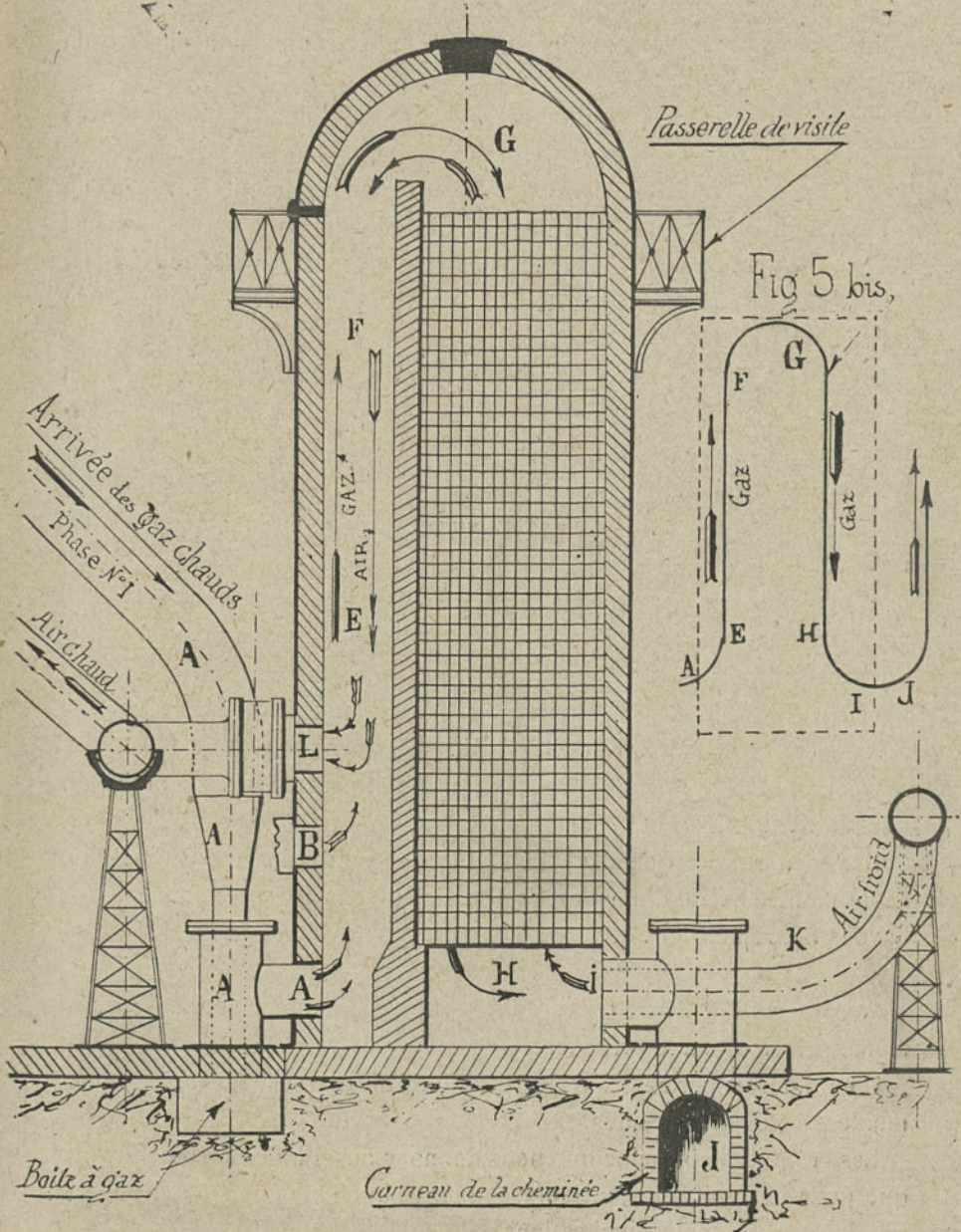
1° **Appareils Cowper** (figure n° 5). — Marche des gaz et chauffage du récupérateur.

Les gaz arrivent par le bas, on les y mélange avec de l'air arrivant en B afin de permettre à l'oxyde de carbone de brûler en vertu de la réaction :



En A nous apercevons l'arrivée des gaz venant du gueulard du haut-fourneau après épuration.

Fig. 5. — Appareil à chauffer le vent (Système Cowper).



AEFGHIJ : Trajet des gaz de réchauffage (Phase 1).
 KINGFEL : Trajet de l'air comprimé en cours de réchauffage (Phase 2).
 J : Carneau allant à la cheminée.
 B : Prise d'air de combustion pour brûler les gaz (Phase 1).

En B nous apercevons une prise d'air pour la combustion de l'oxyde de carbone.

Dès que les gaz arrivent il faut les enflammer, l'ouvrier chargé de ce travail se sert d'une torche goudronnée.

Les gaz montent par la canalisation verticale EF, puis ils changent de direction et redescendent par une multitude de petites canalisations verticales que l'on peut considérer comme de véritables nids d'abeilles.

A la partie inférieure ils sortent en I pour s'en aller à la cheminée après avoir parcouru le chemin GH.

Ils ont ainsi abandonné leurs calories de combustion ainsi que celles apportées par eux, puisque les gaz même inertes sortent du haut-fourneau à température élevée.

Chauffage du vent. — Quand l'ouvrier chargé de la manœuvre du récupérateur considère que ce dernier est suffisamment chaud, il lance le vent froid (par une canalisation K qui est cachée sur notre croquis) venu des machines soufflantes après avoir fermé l'arrivée des gaz venus du haut-fourneau.

On chauffe l'air jusqu'à environ 600°. L'air comprimé suit le chemin inverse des gaz chauds, soit KIHGFEL.

Quand le récupérateur est refroidi, on y fait passer les gaz à nouveau, puis l'air comprimé, etc., etc.

Il y a à retenir que dans le Cowper les gaz ou l'air, effectuent une seule montée suivie d'une descente, mais en sens inverse comme nous l'avons fait remarquer.

2° Appareil Whitwell (figure 6). — Ce récupérateur est basé sur le même principe que le précédent.

Il en diffère en ce sens que les gaz (ou l'air à réchauffer) font deux montées et deux descentes.

Les croquis de principe que nous donnons aussi bien pour le Cowper que pour le Whitwell sont suffisamment simples pour ne point comporter de plus amples explications.

3° Appareil Bœcker. — On a remarqué que dans les récupérateurs

Fig. 6. — Appareil à chauffer le vent (Système Whitwell).

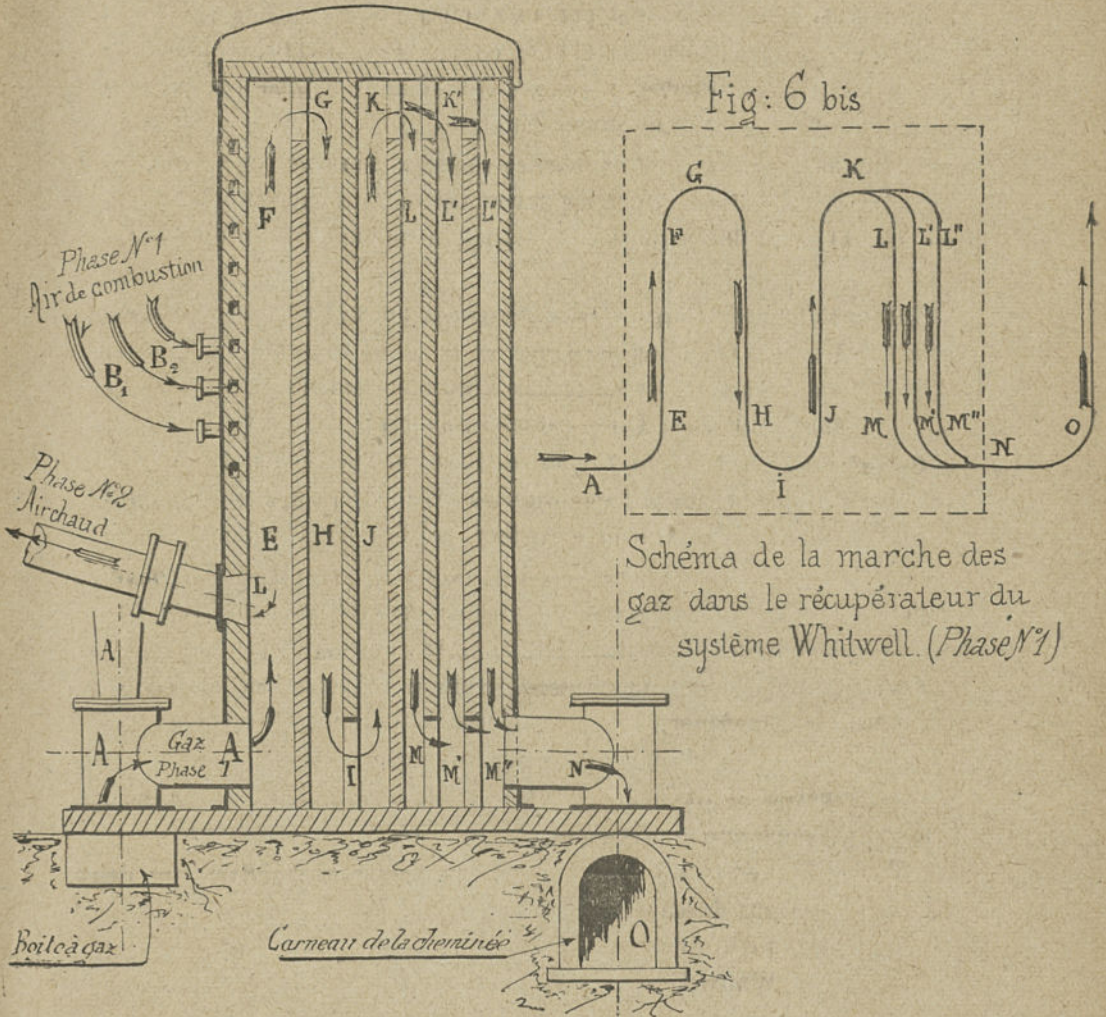


Fig. 6 bis
Schéma de la marche des gaz dans le récupérateur du système Whitwell. (Phase N°1)

AEFGHIJKLMNO : Trajet des gaz de réchauffage (Phase N° 1).
 B₁ B₂ : Arrivée de l'air de combustion pour brûler les gaz (Phase N° 1).
 NMM'M'LL'L'KK'JIHGFEL : Trajet de l'air comprimé qui se réchauffe (Phase N° 2).

ordinaires les gaz ont une tendance à prendre le plus court chemin entre l'arrivée et le départ à la cheminée. En un mot, une partie des cellules sont favorisées par rapport à d'autres.

Dans le dispositif Bœcker on a tenu compte de cet inconvénient, et on empile les briques de façon à resserrer les cellules où le gaz passe en plus grande quantité. On a reproché à ce système une complication plus grande pour la construction, c'est pour cela que certains métallurgistes construisent des récupérateurs très simples où des « registres » viennent faire l'office des empilages différentiels.

Là où les gaz passent le mieux, les registres seront fermés, d'autant plus que cette tendance sera accentuée. Au contraire, ils seront ouverts en plein là où les gaz auront des tendances à ne point passer du tout.

Dimensions des récupérateurs. — Les dimensions de ces appareils sont de l'ordre de grandeur suivant :

- 1° Comme diamètre : 6^m,50 semble une bonne dimension ;
- 2° Comme hauteur certains appareils atteignent jusqu'à 26 mètres.

On se sert en général de 3 récupérateurs par haut-fourneau, cela en vertu de ce principe, que les maçonneries des appareils à chauffer le vent cèdent beaucoup plus vite leur chaleur qu'elles ne s'échauffent elles-mêmes.

Pendant que les machines soufflantes enverront l'air dans un récupérateur, on enverra les gaz chauds dans deux autres.

On conçoit que cette combinaison permette de consacrer *deux fois plus de temps à chauffer* les maçonneries d'un appareil qu'à les refroidir par le passage du vent allant aux tuyères.

COMPAGNIE
LILLE

CHAPITRE VII

QUELQUES NOTIONS SUR LES MACHINES SOUFFLANTES

Nous avons jusqu'ici parlé à nos lecteurs, et cela bien souvent, des machines soufflantes, nous voudrions leur donner quelques détails complémentaires sur ces machines qui font partie intégrante d'une installation de hauts-fourneaux et d'une aciérie.

Nous les divisons au point de vue de leur aspect extérieur en :

1° *Machines soufflantes horizontales ;*

2° *Machines soufflantes verticales.*

But. — Les machines soufflantes fabriquent de l'air comprimé pour tout emploi.

1° Description schématique (fig 7). La machine soufflante comprend un gros cylindre ABCD dans lequel se meut un piston P.

Ce piston est calé, ou fait corps, avec une tige TT' qui sorte de chaque côté du cylindre à travers des presse-étoupe ou stuffing-box.

Les presse-étoupe sont des dispositifs d'étanchéité qui permettent le passage de la tige de piston, tout en empêchant l'air comprimé de s'en aller sous forme de « fuite ».

Entre le piston et la surface interne du cylindre se trouve une garniture jouant le même rôle que les segments d'un piston de moteur d'automobile.

Nous avons été à même d'étudier certaines de ces garnitures qui étaient en bois, cuir et feutre.

Il est évident que les garnitures métalliques conviennent également bien.

Sur les deux fonds droite et gauche du cylindre se trouvent deux séries de clapets.

Les clapets inférieurs ou clapets d'aspiration et les clapets supérieurs qui sont ceux de refoulement s'ouvrant sur la conduite d'utilisation.

FONCTIONNEMENT

Supposons le piston au point mort de gauche et admettons qu'il se déplace dans le sens de la flèche F.

La série I de clapets d'aspiration de gauche va s'ouvrir sous l'influence de la dépression créée par le déplacement du piston dans un espace primitivement clos. L'air va s'engouffrer dans le cylindre, pendant toute la course jusqu'au point-mort de droite.

Puis le piston revenant en sens inverse, les clapets d'aspiration se fermeront par leur propre poids et l'air sera comprimé, jusqu'à une pression telle que les clapets de la série II s'ouvriront et mettront le cylindre en communication avec les conduites d'utilisation, ou avec un réservoir formant accumulateur d'air.

Puis le piston revenant du point-mort de gauche au point-mort de droite les mêmes faits se reproduiront.

Nous n'avons envisagé que le travail effectué par la face gauche du piston, un raisonnement analogue nous aurait montré comment se produisent l'aspiration et le refoulement relativement à la face droite du piston.

La machine soufflante que nous avons décrite est donc une machine à double effet.

Les machines soufflantes les plus anciennes ont commencé à être actionnées par des machines à vapeur, cela d'une façon exclusive.

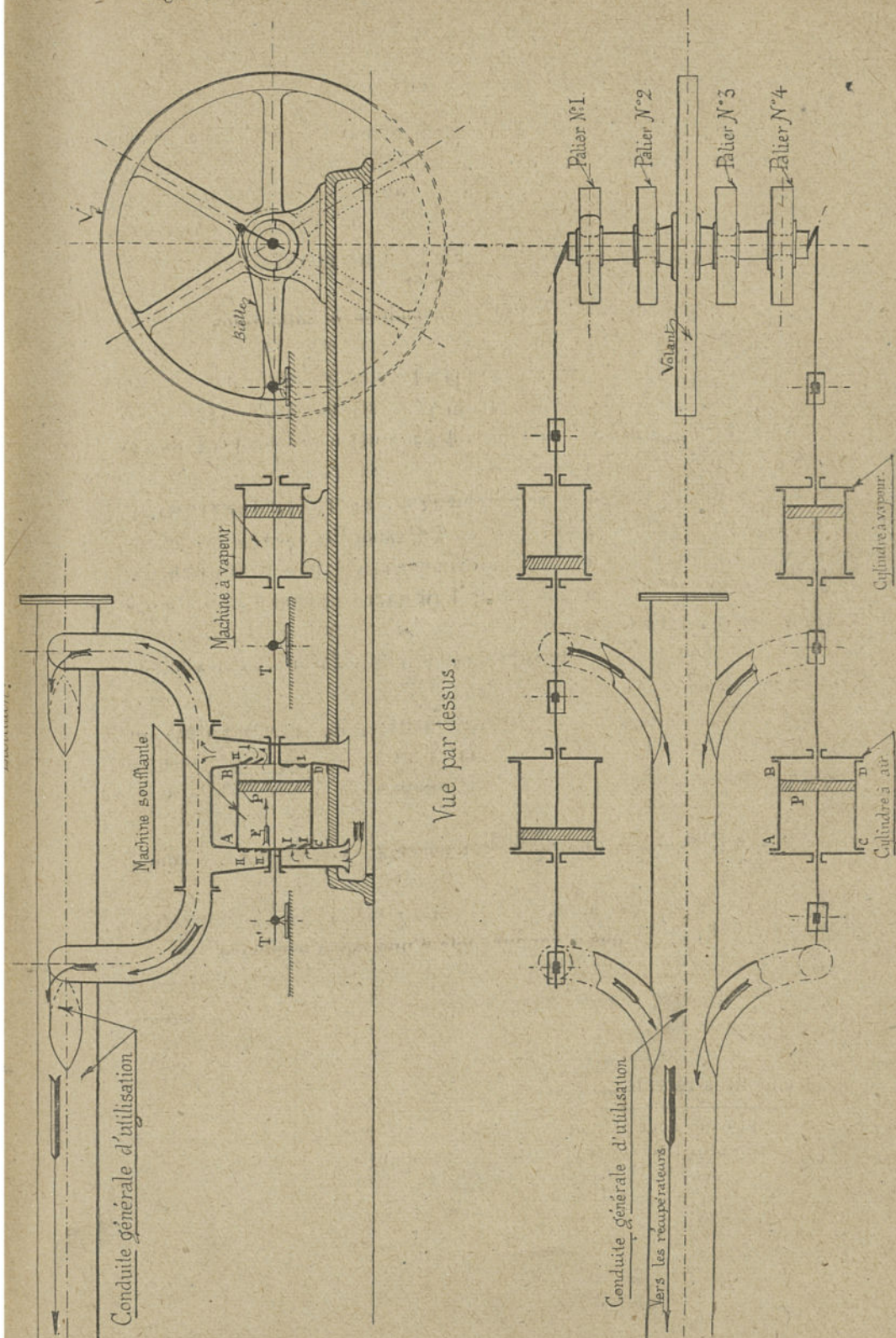
Depuis un certain nombre d'années il existe également des souffleries actionnées par des moteurs thermiques marchant aux gaz des hauts-fourneaux.

Le dessin que nous donnons correspond à une machine soufflante actionnée directement par une machine à vapeur.

Un volant V régularise le mouvement.

Cette soufflerie est double. Il y a un cylindre à vapeur et un cylindre soufflant de chaque côté du volant V. (*Voir la vue en dessus, fig. 7 bis*).

Fig. 7 et 7 bis. — Machine soufflante horizontale double.

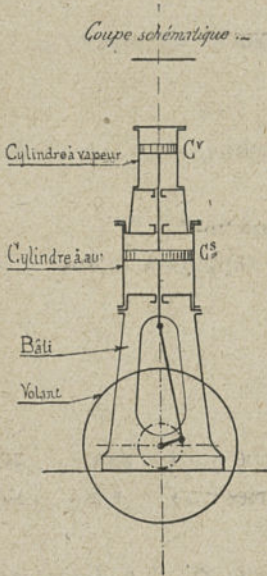


Cette manière d'accoupler directement le cylindre à vent et le cylindre à vapeur, constitue ce que l'on pourrait appeler une disposition « en tandem »

MACHINES SOUFFLANTES VERTICALES (figure 8).

Nous donnons le schéma d'une machine soufflante verticale. Elle est double. Les cylindres à vapeur C^v sont placés au-dessus des cylindres soufflants C^s .

Fig. 8. — Machine soufflante verticale.



Les machines soufflantes correspondent à des moteurs thermiques à régime très lent (1) c'est-à-dire dont le nombre de tours à la minute est relativement faible par rapport à celui que possèdent d'autres machines à vapeur.

Par exemple : il existe pour cet usage, des moteurs à vapeur tournant à 72 tours à la minute, et il y a bon nombre de souffleries qui ne tournent guère qu'à 20 ou 52 tours-minute.

Pression de l'air insufflé.

L'on envoie avec ces appareils du vent à la pression de 15 à 25 centimètres de mercure dans les hauts-fourneaux.

Les pressions d'air qui sont nécessaires pour les aciéries Bessemer ou les aciéries Thomas sont des pressions beaucoup plus élevées.

Nous avons été à même d'étudier des souffleries destinées au Bessemerage et qui donnaient jusqu'à 155^{mc} de mercure.

Le lecteur a donc un terme comparatif entre une soufflerie de haut-fourneau et celle travaillant pour une aciérie Bessemer ou Thomas (Voir chapitres relatifs à ces aciéries).

(1) Quand nous parlons du régime très lent de ces machines thermiques, nous n'exagérons rien en les comparant par exemple à des Moteurs à essence qui font couramment 3 000 tours-minute ou à des Turbines de Laval qui ont un régime bien plus élevé encore.

Récapitulation schématique et explications concernant la figure N° 9 qui donne l'indication de la marche des gaz et de l'air comprimé chauffé. — Nous allons suivre sur la figure 9 qui représente la vue théorique d'une machine soufflante et le circuit des gaz résiduels. Cela nous donnera l'occasion de récapituler et de donner des idées d'ensemble.

Nous apercevons en *a, d, d', a* le cylindre horizontal d'une telle machine accouplée « en tandem » avec une machine à vapeur dont le cylindre est en *U* et le volant en *V*.

Supposons que le piston de la machine à vapeur et celui de la machine soufflante se déplacent vers la droite.

Une dépression se produit alors sur la face gauche du piston de cette dernière machine.

Le clapet *b* se soulève, l'air rentre à gauche.

Puis, quand le piston est revenu dans son mouvement alternatif, de droite à gauche, il comprime l'air.

Le clapet *b* se ferme et le clapet *c* s'ouvre à son tour.

Il se produit une suite analogue de faits par rapport à la face droite du piston de la machine soufflante.

L'air comprimé suit alors le chemin :

c, d, e, f, g, h

Il rentre, ensuite, dans le récupérateur de gauche qui est dans sa phase N° 2, c'est-à-dire celle où il cède à l'air les calories que ses maçonneries réfractaires ont emmagasinées.

L'air passe en montant de *h* en *i* ; puis redescend de *i* en *k* pour remonter de *k* en *m* et pour redescendre, finalement, de *m* en *o* et en *p*.

De là, il passe (à une température convenable) par le chemin *p, r, s, t*, où il est insufflé dans le haut-fourneau par les tuyères *t*.

Etudions maintenant le circuit des Gaz résiduels (Suivre fig. 9). Les gaz résiduels, recueillis au gueulard du haut-fourneau et constitués, surtout, par un mélange d'acide carbonique, d'oxyde de carbone et de vapeur d'eau, passent par de gros tuyaux qui (après l'épuration non représentée sur le schéma) les amènent par le chemin 1, 2 au récupérateur de droite.

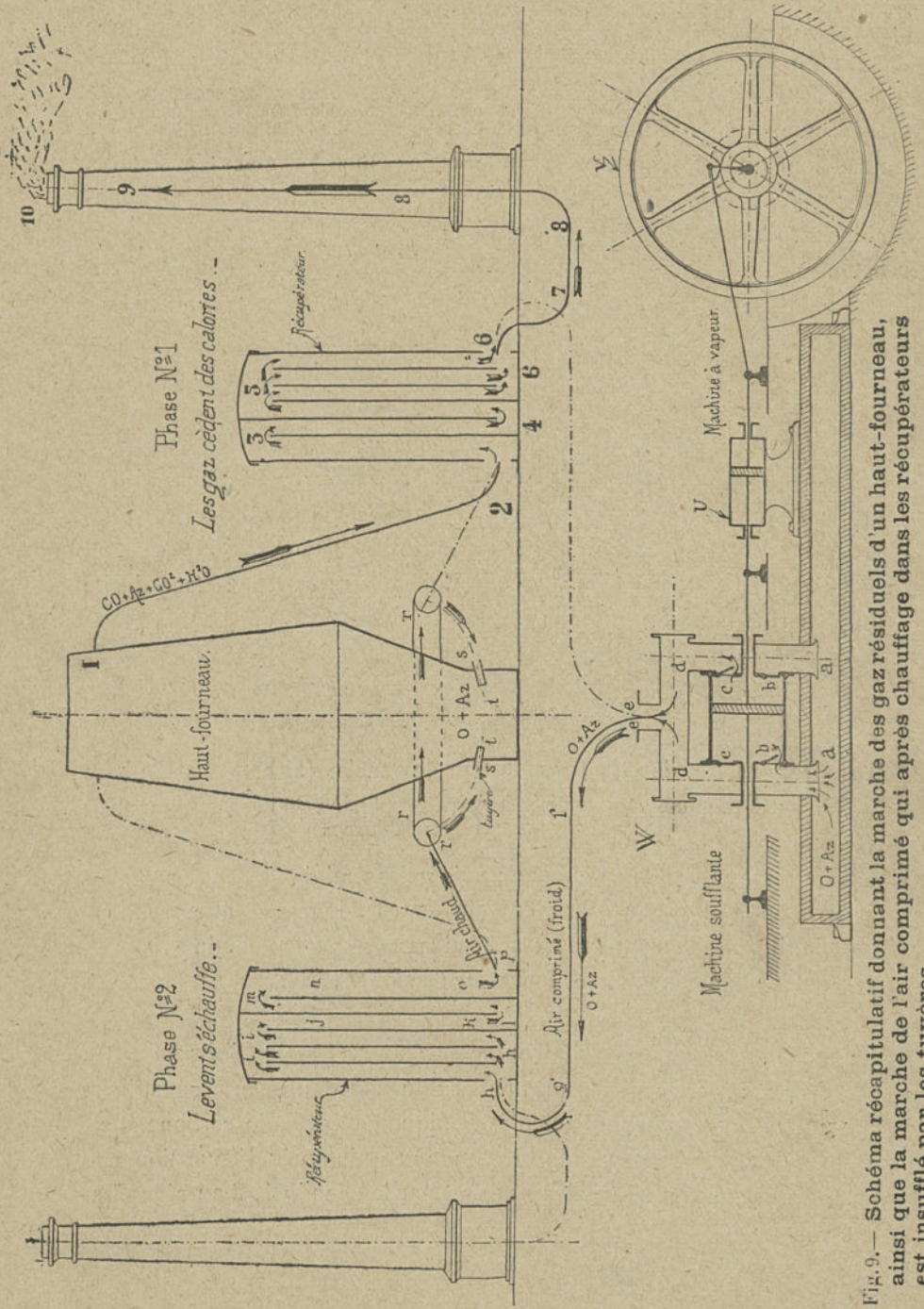
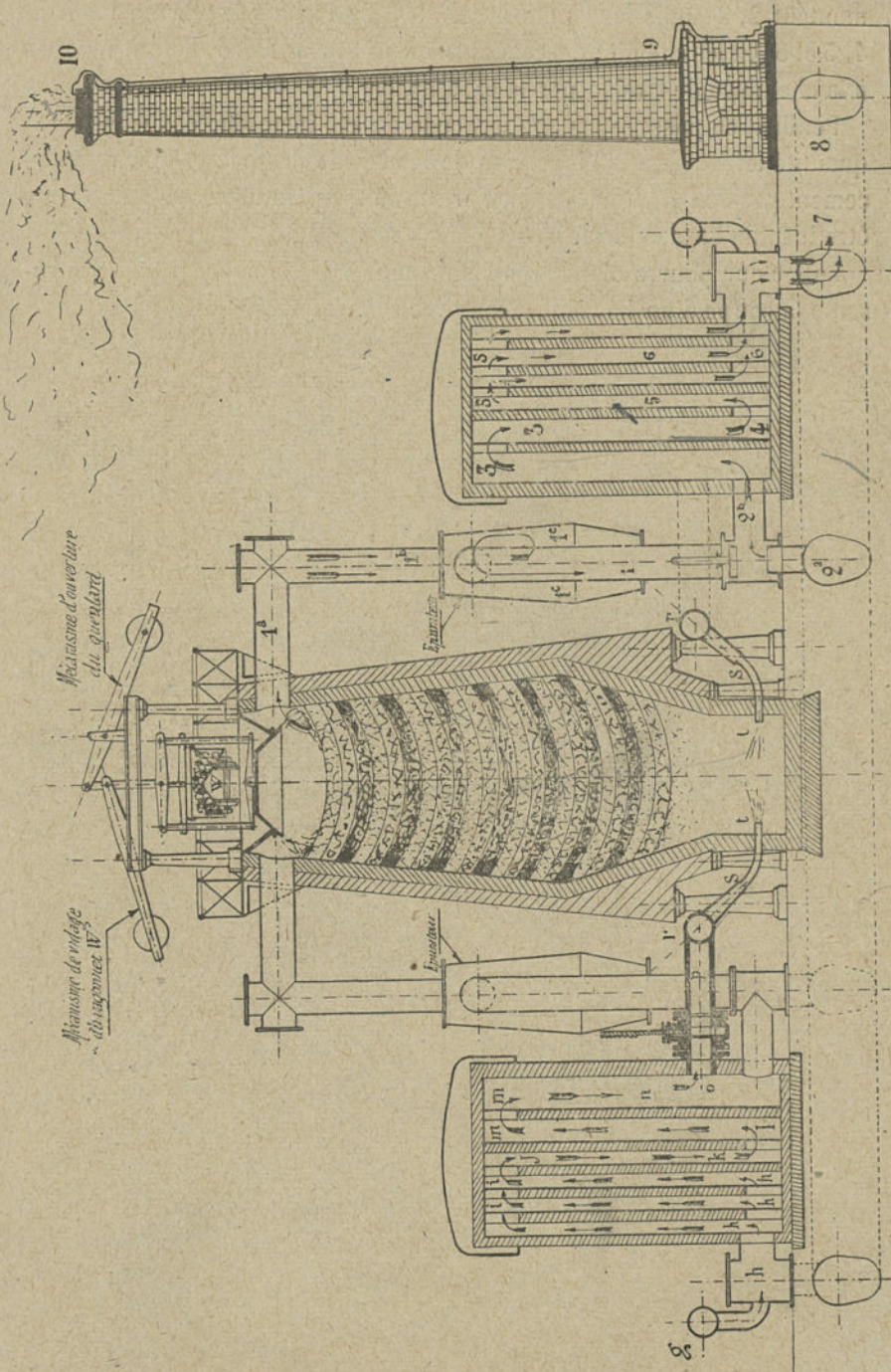


Fig. 9. — Schéma récapitulatif donnant la marche des gaz résiduels d'un haut-fourneau, ainsi que la marche de l'air comprimé qui après chauffage dans les récupérateurs est insufflé par les tuyères.

Le lecteur après avoir bien compris le schéma récapitulatif de la figure N° 9 n'aura aucune peine pour saisir très exactement ce que représente la coupe d'un haut-fourneau et de ses récupérateurs au point de vue de la marche des gaz et de l'air comprimé. En 1° on aperçoit un épurateur dans lequel se déposent les poussières entraînées par les gaz résiduels, des tampons de nettoyage facilement accessibles, permettent d'extraire les dépôts. En W se trouve un wagonnet à vidage automatique par soulèvement de sa partie périphérique.

Fig. 10. — Coupe d'un haut-fourneau et des récupérateurs correspondants.

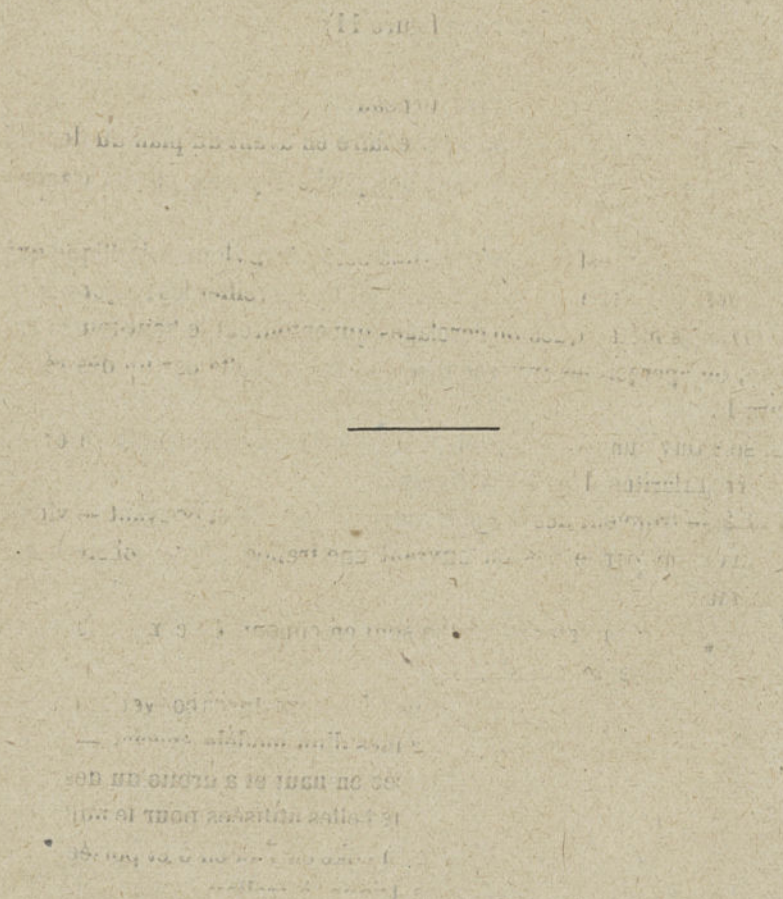


Les récupérateurs sont du système Whitwell déjà décrit, et nous verrons dans la figure N° 11, l'application du récupérateur Cowper.

Ces gaz à haute température, suivent dans le récupérateur le chemin montant 2, 3 ; puis le chemin descendant 3, 4 ; puis le chemin montant 4, 5 et enfin les chemins descendants 5, 6 ; 5, 6 ; 5, 6 et de là sont envoyés à la cheminée de l'usine par la canalisation 6, 7, 8.

Pendant ce passage les gaz ont cédé au récupérateur des calories en quantité telle qu'après l'inversion de la marche des gaz et leur remplacement par de l'air froid, ce dernier sera à température convenable pour être insufflé et ainsi de suite.

Le lecteur pourra alors, très bien comprendre la figure 10 qui représente la coupe d'un haut-fourneau avec ses récupérateurs.



CHAPITRE VIII

DESCRIPTION D'UNE FONDERIE DE 1^{re} FUSION AVEC RÉDUCTION DE LA MAIN-D'ŒUVRE A MINIMA

(Suivre figure 11)

En A nous apercevons le haut-fourneau.

La coulée de la fonte est supposée se faire en avant du plan du dessin. La coulée du laitier se fait en X dans une poche Y portée par un wagonnet W.

Le haut-fourneau est entouré par une sorte de pylone métallique qui comporte des passerelles S, S, S permettant de surveiller les maçonneries et les armatures métalliques ou cerclages qui entourent le haut-fourneau.

En t, t', on aperçoit les tuyères recevant l'air chauffé par un des récupérateurs B.

En C, se trouve un hall qui protège les silos à coke formant la réserve, en cas d'irrégularités dans les arrivages.

En 1 et 2 se trouvent des wagons amenant le coke et pouvant se vider automatiquement par le bas en ouvrant une trappe qui les obstrue en temps normal.

Les silos ou accumulateurs à coke sont en ciment. Ce ciment est soutenu par une charpente métallique.

Les silos se déversent en 3, 4, 5, 6 par des ouvertures convenablement inclinées et destinées à remplir des bennes d'un modèle spécial — (dessiné en plus grand dans la vignette placée en haut et à droite du dessin). Ces bennes sont d'ailleurs les mêmes que celles utilisées pour le minerai.

Elles sont représentées sous les silos à coke en 7 et en 8 et portées par des wagonnets spéciaux à traction électrique, à trolley.

De plus la vignette de droite représente en *L'*, une benne du modèle 7 et 8, très agrandie afin que le lecteur voie mieux son agencement.

Le couvercle α et le fond mobile β sont faciles à voir sur la figure en question.

Quand nous avons dit que les silos à coke (représentés sous le hall *C*) servaient de réserve, nous entendions, par là, que le service habituel était fait par les wagons que nous avons représentés en 9 et 10.

Le coke est alors déversé dans les bennes 11 et 12, ces bennes montées sur chariots (à commande électrique par trolley) seront amenées par aiguillages convenables, à la place du wagonnet 18, c'est-à-dire, sous le hall *D*.

Dans cette position, on pourra accrocher la benne de coke au monte-charge, où, comme nous le verrons tout à l'heure, elle sera montée et déversée automatiquement dans le haut-fourneau, *sans personne au gueulard*.

Les wagonnets 11 et 12 qui sont chargés, directement, au moment des arrivages de coke par voie de fer, sont disposés sous des lignes électriques telles que les aiguillages sont prévus pour ne point déranger les autres wagons comme 10 en déchargement. Cela, au moment où l'on doit ramener une benne chargée de coke pour la remplacer par une autre vide. C'est très bien compris comme dispositif.

En *D*, on aperçoit le hall qui recouvre les *accumulateurs* ou *silos* à minerai.

On peut avoir des silos réservés à certaines qualités de minerais et d'autres réservés à des qualités différentes.

Les silos sont faits d'une carcasse métallique et de ciment, le ciment agissant surtout dans cet ensemble, comme remplissage.

Les ingénieurs qui ont étudié cette installation, ont prévu que le ciment, pouvant s'abîmer au fur et à mesure de la tombée du minerai, il était prudent de ne le point faire intervenir comme facteur de résistance. On laisse tout ce soin à la carcasse métallique.

Les wagons 13 et 14 sont d'un type spécial déjà décrit pour le coke, ils se déchargent automatiquement vers le bas et déversent d'une façon très rapide tout leur contenu dans les silos au-dessus desquels ils sont.

Les silos sont eux-mêmes vidés automatiquement par des trappes placées en 16 et 17 qui se déversent dans des bennes telles que 18.

Dans ce mouvement, *les pieds de notre homme se déplaceraient plus vite que ses mains*, le lecteur se rappelant que les mains tiennent la benne et qu'aux pieds est amarré le couvercle.

Donc, au moment du chargement, *le couvercle descendra plus vite que la benne* et empêchera (en la recouvrant vivement) la sortie des gaz du haut-fourneau.

Cette manière de représenter le mouvement du chariot (par le mouvement d'un homme disposé d'une façon spéciale) nous a semblé la plus claire pour faire très vite comprendre le but un peu complexe rempli par le chariot en question.

TROISIÈME PARTIE

CHAPITRE IX

ÉTUDE SUR LA FABRICATION DU FER

Nous allons présenter, sans entrer dans trop de détails, les méthodes classiques de fabrication du fer.

Nous ne donnons pas cette étude au point de vue de l'emploi ultérieur du fer, puisque nos lecteurs savent que l'emploi de ce métal diminue chaque jour d'importance.

Il est, en effet, remplacé de plus en plus par l'acier qui coûte moins cher et qui est plus résistant.

Mais l'étude de la fabrication du fer constitue un *excellent préliminaire* à l'étude de la fabrication de l'acier où il existe deux procédés principaux.

1° Soit l'oxydation du carbone de la fonte par un courant d'air (Procédés Bessemer et Thomas).

2° Soit l'oxydation par réaction (Procédé Martin).

Dans la fabrication *du fer* nous rencontrons :

1° La méthode comtoise ;

2° La méthode anglaise.

1° Dans la *méthode du four comtois*, on se sert d'un courant d'air pour oxyder le carbone de la fonte. [*Ce principe est analogue à celui de la fabrication des Aciers Bessemer*].

2° Dans la *méthode anglaise* on procède par réaction chimique : on met en présence de la fonte et de l'oxyde de fer (oxyde dit « des

battitures ») et le carbone s'élimine en grande partie. [*Ce principe a de l'analogie avec le procédé de fabrication des Aciers Martin.*]

Étude du procédé comtois. — Nous savons tous que le fer industriel n'est pas pur. Il contient peu de carbone, mais il en contient.

Le fer chimiquement dépourvu de carbone est, à notre avis, du domaine de la chimie pure ou du domaine pharmaceutique.

Nous savons simplement que le fer industriel contient moins de carbone que la fonte. Donc, puisque le fer contient moins de carbone que la fonte, il suffit de décarburer cette dernière jusqu'à un certain point. Mais la fonte contient aussi des corps étrangers, tel que le *silicium*, le *phosphore*, le *manganèse*.

Le *silicium*, passe, comme disent les métallurgistes, dans la scorie.

La *scorie* est, nous le rappelons, un *résidu de fabrication*. Ce résidu est *fusible* facilement, quand il s'agit de celui formé par le silicate de fer et de manganèse qui prend naissance ici.

On verra que cette fusibilité de la scorie est bien commode dans le cas qui nous occupe (voir cinglage, pilonnage).

Le *phosphore* passe aussi dans la scorie quand cette dernière est basique. Il se forme alors du phosphate de fer et de manganèse qui est également fusible.

Les corps étrangers autres que le carbone partent donc les premiers.

Puis le carbone est brûlé et se transforme en oxyde de carbone.

Le fer en prenant naissance s'épaissit de plus en plus, il devient de moins en moins fusible.

On peut le rassembler, en faire une *boule* d'un certain volume, boule que les ouvriers appellent : loupe.

CINGLAGE ET MARTELAGE

Nous avons porté l'attention sur la grande fusibilité de la scorie. Cette dernière imprègne le fer naissant, comme de l'eau imprègnerait une éponge.

Afin de faire jaillir la scorie, on est obligé de cingler, de marteler le fer impur au marteau-pilon par exemple qui presse la *boule* comme on presserait une éponge pour en extraire l'eau qui l'imprègne.

Le fer se débarrasse ainsi de ses impuretés qui giclent tout autour du marteau-pilon.

Le four comtois (figure 12). — Le « *four comtois* » se compose d'une cavité carrée que l'on chauffe au charbon de bois.

Il y a également une arrivée d'air sous pression (ou plusieurs arrivées) permettant d'activer la combustion et d'oxyder le carbone.

Sur le charbon incandescent on place la fonte qui fond et tombe en gouttelettes. Ces dernières s'oxydent en passant devant la tuyère et le carbone de la fonte brûle avec une flamme bleue en donnant de l'oxyde de carbone.

La scorie *mangano-siliceuse* qui se forme se rassemble au fond du four comtois avec le fer qui s'épaissit de plus en plus au fur et à mesure qu'il prend corps.

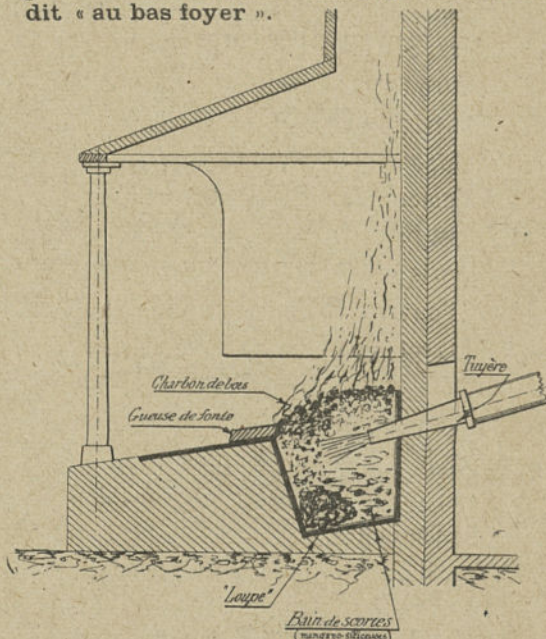
Comme nos lecteurs doivent savoir, il existe des dissolutions salines qui laissent déposer des cristaux.

Les « *marais-salants* » où le sel marin se dépose constitue un exemple de ce que nous avançons.

L'eau-mère de cristallisation est justement l'eau qui contenait les cristaux en dissolution.

Eh bien ! des chimistes ont eu l'idée de comparer le « *fer naissant* »

Fig. 12. — « Four Comtois » Affinage de la fonte dit « au bas foyer ».



Nota. — Nous étudions ce procédé de fabrication du fer, non seulement au point de vue rétrospectif, mais encore à cause de l'analogie de ce procédé de décarburation, avec des méthodes plus modernes.

à des cristaux qui se formeraient dans une certaine « eau-mère » qui ne serait autre que la scorie.

De même que pour débarrasser certains cristaux de leur eau-mère, on est obligé de leur faire subir l'opération de l'essorage, ici on pratique le cinglage qui remplit le même but savoir :

« Séparer deux corps dont l'un est liquide et l'autre solide ».

L'ouvrier prend une barre de fer [appelée *ringard*] et quand il juge l'opération suffisamment avancée, il rassemble tout le fer pâteux pour en former une boule. — C'est la « loupe. »

Il la soulève pour la ramener vers le charbon incandescent et la réchauffer. Son passage devant le courant d'air l'oxyde encore et fait disparaître du carbone à nouveau.

L'épaississement s'accroît. On continue le travail jusqu'à l'instant où la loupe est d'un volume suffisant pour être cinglée.

On l'amène alors au marteau-pilon.

Elle est battue et prend peu à peu une forme géométrique.

La scorie projetée par le battage énergique gicle de tous côtés.

Puis l'ouvrier conduisant le travail ayant obtenu une sorte de parallépipède rectangle prendra cette sorte de lingot qui contient encore des impuretés.

Une série de réchauffages suivie d'une série de battages ou] cinglages purifiera le fer de plus en plus.

Quand on le supposera convenablement pur, on le fera passer au train de laminoirs.

Alors, il prendra la forme marchande (fers profilés, fers à planchers ou fers plats, fers pour le charronnage, etc., etc.).

Donc bien retenir cette méthode de fabrication du fer qui aidera beaucoup à étudier la méthode de fabrication de l'acier par le procédé d'Henri Bessemer (1) (convertisseur).

Méthode anglaise pour la fabrication du fer [Puddlage] (Combustible utilisé : la houille). — Ce procédé a pour ainsi dire pris naissance

(1) La méthode Bessemer n'est autre qu'un procédé d'Oxydation du carbone de la fonte par contact avec l'air ; nos lecteurs voient donc l'analogie évidente avec le procédé comtois qui est caractérisée, aussi par cette même oxydation c'est-à-dire par le même principe, déjà signalé.

du fait de l'emploi de la houille comme combustible fournissant la haute température nécessaire à l'affinage de la fonte.

Dans la méthode comtoise on utilisait du charbon de bois, et ce qui est important au point de vue de la fabrication, c'est que ce combustible est pur au point de vue du phosphore et du soufre. Il n'y avait donc aucun inconvénient à mettre le charbon en contact avec le métal qui prenait naissance.

Dans la méthode anglaise rien de cela, on se sert de la houille, cette dernière est impure et il fallait absolument éviter son contact avec le métal.

La houille a le grave inconvénient de contenir du soufre qui passant dans le fer lui communique une propriété détestable.

Le fer devient cassant à chaud, on ne peut donc le forger alors que le forgeage possible constitue un avan-

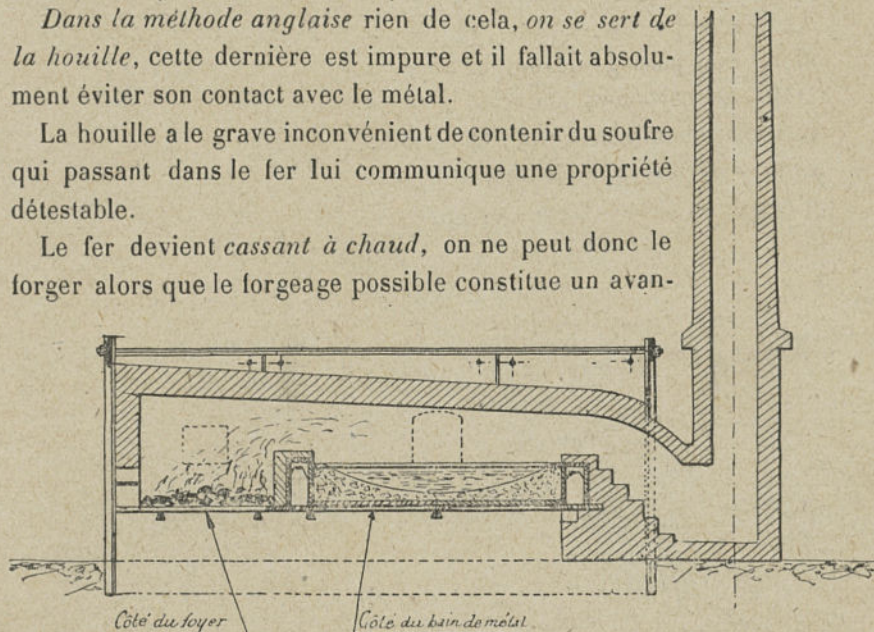


Fig. 13. — Coupe d'un four à puddler servant à fabriquer du fer par l'affinage de la fonte (Méthode anglaise).

tage, une propriété caractéristique de ce métal, qu'il ne faut pas lui supprimer.

Les métallurgistes désignent ce fer cassant à chaud sous le nom de « Fer rouverin ».

Nous dirons en passant que le phosphore a une propriété également détestable quand il passe dans le fer, il fait casser le fer à froid.

Les métallurgistes qui instituèrent la méthode anglaise, appelée encore le « puddlage », ont eu comme premier souci de séparer le métal

du combustible, d'où l'emploi des fours dits à réverbère. — (Nous retrouverons d'ailleurs l'usage de ce four dans la fabrication de l'acier Martin, le lecteur notera encore cette analogie).

Dans le four à réverbère, d'un côté se trouve un foyer muni de sa grille sur laquelle on dispose le combustible et de l'autre se trouve une cuve contenant la fonte (figures 13 et 13 bis).

Préparation du four. — On chauffe le four à blanc afin de posséder une sole convenable pour le travail.

La sole du four est faite au moyen d'oxyde de fer que l'on appelle *l'oxyde des battitures* ou par des oxydes semblables.

Le *tour de la cuve* que l'on appelle « cordon » se fait avec des blocs de minerai constitué par de l'oxyde de fer le plus pur possible comme gangue.

A. PÉRIODE DITE DE CHARGEMENT. — Le *chargement* consiste à mettre dans la cuve du four des scories riches en battitures.

On charge ensuite la fonte soit froide, soit chaude.

Puis on *lute* les portes pour que tout soit fermé : sauf le trou qui sert à passer le ringard qui permettra de brasser la masse.

B. PÉRIODE DITE DE FUSION. — La fonte que l'on a mise dans le four à réverbère que nous allons décrire succinctement *entre en fusion*. Il faut environ 40 minutes pour l'effectuer.

Le four à réverbère où se fait le travail comprend, comme nous l'avons déjà dit un foyer où l'on fait brûler la houille.

Les flammes passent ensuite dans la deuxième partie du four dont « le ciel » reverbère la chaleur sur la sorte de cuve qui contient le métal en fusion.

Des « *régistres* » convenablement disposés permettent d'envoyer plus ou moins d'air et de rendre la flamme plus ou moins oxydante. (En terme de métallurgie, comme en terme de chaudières à vapeur, on donne le nom de « *régistre* » à une sorte de trappe se déplaçant verticalement, généralement équilibrée et permettant d'ouvrir ou de fermer le passage de l'air).

Pendant la période de fusion, la *scorie* se sépare et surnage le bain de fonte.

La scorie contient le silicium sous forme de silicate de fer et de manganèse. C'est le départ des impuretés, cela sous forme liquide.

C. PÉRIODE D'ÉPURATION. — L'ouvrier dès qu'il pense que la fusion, dont il connaît la durée approximative, est terminée, vérifie à l'aide d'un ringard si tout est bien fondu.

Il brasse la masse afin de permettre aux dernières parcelles de silicium de s'éliminer.

Mais si le silicium s'élimine, *c'est au détriment de l'oxyde de fer contenu dans la scorie* et comme cette dernière doit posséder de *grandes qualités oxydantes* afin de pouvoir agir sur le carbone de la fonte, l'ouvrier a intérêt à créer *une atmosphère oxydante*.

L'ouvrier ouvre alors le registre en plein, l'oxygène de l'air rend l'atmosphère oxydante.

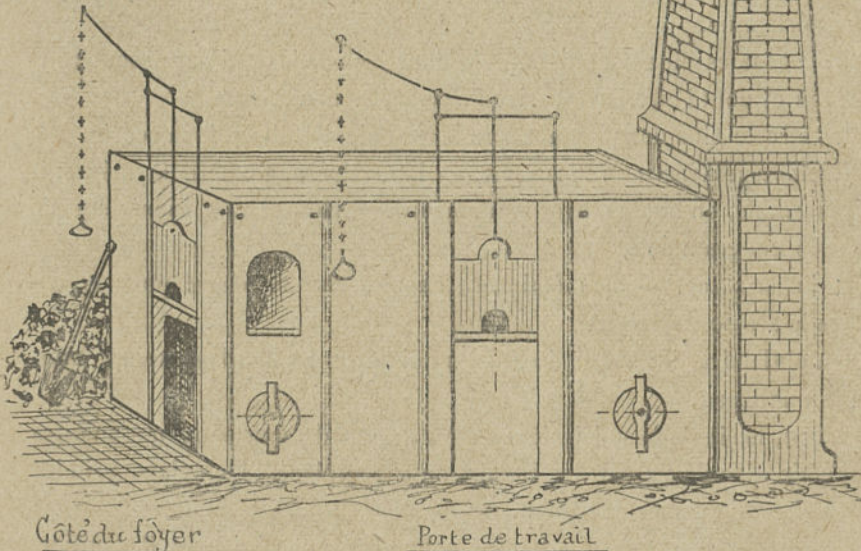


Fig. 13 bis. — Vue extérieure d'un four à puddler (Méthode anglaise).

La scorie s'épaissit, ce qui est une indication de sa valeur *décarbure* *rante*.

En effet, *dire que la scorie s'épaissit, revient à dire qu'elle devient riche en oxygène*.

D. DÉCARBURATION DE LA FONTE. — Cette période est des plus importantes, puisqu'elle va correspondre au départ du carbone et à la formation du fer.

L'agent de décarburation est né de la période précédente, c'est la scorie épaisse fortement chargée en oxyde de fer.

L'oxyde de carbone qui se forme se dégage et brûle avec une *flamme bleue* caractéristique.

L'ouvrier aide la réaction en remuant la masse avec son ringard *et il ferme son registre* pour ne pas exagérer l'oxydation, *car il ne faut pas dépasser le but.*

On a intérêt, en effet, à avoir une scorie suffisamment oxydante pour détruire le carbone de la fonte mais on n'a pas du tout intérêt à oxyder le métal qui se forme, car on veut obtenir du fer et *non de l'oxyde de fer.*

La masse bouillonne de plus en plus par le départ du gaz (CO) oxyde de carbone, brûlant comme nous l'avons dit, avec une *flamme bleue* caractéristique.

La masse est finalement soulevée dans les parties qui paraissent rougeâtres et dont l'ouvrier favorise l'oxydation finale.

Il ne reste plus dans la cuve que le fer baignant dans de la scorie.

E. AGGLOMÉRATION DU FER PRODUIT. — L'ouvrier agglomère le métal ; il le rassemble, en boules, avec son ringard. (Chaque boule représente de 35 à 45 kilogrammes.)

F. LE CINGLAGE. — Le métal sera ensuite *cinglé, pressé* pour en extraire la scorie.

On obtiendra des sortes de lingots qui après réchauffage seront martelés à nouveau.

Avant, le cinglage se faisait avec des sortes de marteaux mécaniques qui étaient soulevés par des cames, on a remplacé le cinglage primitif par le travail au marteau-pilon.

Le fer produit est ensuite laminé pour être amené à une forme correspondante à celles couramment vendues dans le commerce (fer à plancher, fer profilés, etc.).

CHAPITRE X

MARTEAUX-PILONS ET LAMINOIRS

Généralités et descriptions. — Nous ne pouvons passer sous silence la description d'un marteau-pilon (fig. 14).

Beaucoup de nos lecteurs en ont entendu parler, d'autres en ont vu fonctionner, nous allons donc simplement, d'une façon succincte, leur rappeler le principe de cet appareil.

Le marteau-pilon est constitué, en principe, par une masse pesante M qui est élevée à une certaine hauteur et que l'on laisse retomber.

La masse a emmagasiné de la force vive dans la montée, elle la restitue dans la descente sous forme de choc. Le choc est utilisé à écraser et à façonner le métal préalablement porté au rouge.

Marteau-pilon à courroie. — Il existe différentes méthodes pour soulever la masse. Quelquefois on se sert d'une transmission à courroie, la courroie est tendue pendant la montée. Quand, au moyen d'un galet (celui qui a produit la tension) on vient détendre la courroie par le déplacement du galet précité, la masse retombe.

Marteau-pilon à planche. — Une autre méthode consiste à soulever la masse au moyen d'une tige qui est plane et contre laquelle frottent deux galets dits de friction.

Quand on recule l'un des galets la planche se trouve sensiblement abandonnée à elle-même et la masse retombe.

Marteau-pilon à vapeur. — Un des systèmes de marteaux-pilons le plus répandu est certainement le marteau-pilon à vapeur. Un cylindre A placé à la partie supérieure de l'appareil reçoit la vapeur sous un piston B : le piston B est relié à la masse M du marteau proprement dit par l'intermédiaire d'une tige T.

On a déjà vu que le marteau-pilon permettait, *par serrage, d'éliminer la scorie des blocs de fer*, obtenus au four à puddler.

Mais son rôle consiste encore à préparer ce que l'on appelle les « *blooms* » nécessaires au laminage de pièces déterminées. Les laminoirs que nous allons décrire rapidement ont pour but de donner au métal, par une sorte de série de compressions successives, la forme de barres d'un profil déterminé.

Si on veut, par exemple, laminier un fer à plancher (de forme I double té) on est obligé de prendre un bloc de fer (ou d'acier) ayant au moins le poids de la pièce finie.

Nous devons même dire qu'en raison des déchets probables on est bien forcé d'avoir un bloc de métal même plus lourd que la pièce finie.

En admettant qu'il y ait 20 à 25 pour $\%$ de déchet, il faudra, pour obtenir un fer pesant 200 kilogrammes, prendre un bloc de près de 250 kilogrammes.

Ce bloc n'existe pas, il faut le constituer avec du fer puddlé, par exemple, de la ferraille.

On formera une sorte de paquet que l'on ira ensuite porter dans un four à réchauffer avant le laminage.

Le bloc préparé pour le laminage a reçu le nom de « *bloom* ».

1° Dès que le « *bloom* » est chaud on est obligé de *le resserrer* afin de chasser le peu de scorie qu'il peut contenir.

2° De le souder puisqu'il n'est, au fond, constitué que par des morceaux qui ont été chauffés ensemble mais qui sont *juxtaposés* simplement.

Un rôle métallurgique très important du marteau-pilon est constitué par le resserrage et le soudage des blooms.

En battant la pièce sur ses différentes faces on fait couler les scories par les interstices et après, le soudage s'effectue.

En dehors de cela les marteaux-pilons servent au façonnage de nombre de pièces, employées dans l'industrie. [Pièces pour la construction des chemins de fer (waggonnage), (locomotives), pièces pour la construction navale, pour la construction automobile... etc., etc.....].

Quelques mots sur les laminoirs. — *But.* — Les laminoirs servent à obtenir des fers et des aciers profilés.

Ils permettent également d'obtenir des tôles de différentes épaisseurs. Enfin on s'en sert concurremment avec les marteaux-pilons, pour faire le *resserrage des blooms* (Trains bloomings).

Description (suivre fig. 15). — En principe, le laminoir le plus simple comprend une série de paliers A auxquels on donne, en métallurgie, le nom de « colonnes ». Dans ces colonnes sont placés des coussinets C qui portent les cylindres B du laminoir.

Dans un cylindre de laminoir considéré seul, on peut distinguer les 3 parties classiques.

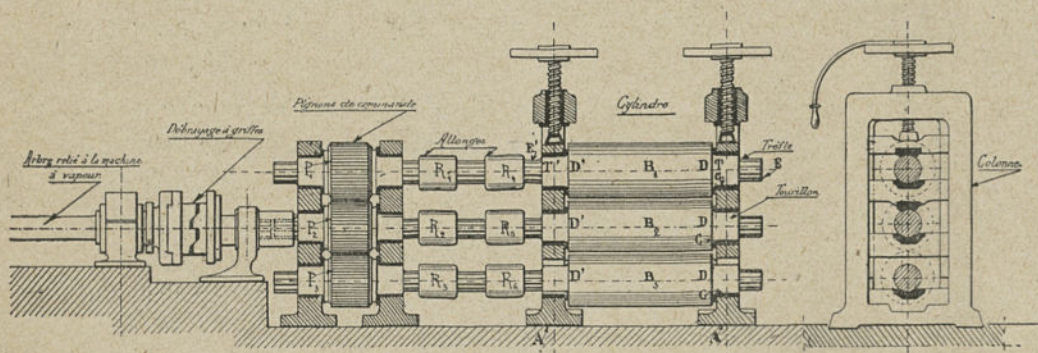


Fig. 15. — Vue d'un train de laminoirs à tôles.

Cette figure représente ce que l'on appelle un « train-trio de laminoirs » parce qu'il y a 3 cylindres B₁B₂B₃. L'arbre de gauche est relié à la machine à vapeur, qui actionne le laminoir par l'intermédiaire d'un débrayage à griffes. Le pignon central de commande P₂ entraîne les deux autres P₁ et P₃. De ce fait les cylindres B₁B₂B₃ tournent à leur tour car ils sont reliés aux pignons P₁P₂P₃ par les allonges R₁R₂R₃..., etc. Le métal devant servir à fabriquer la tôle est introduit entre les cylindres B₃ et B₂ puis B₂ et B₁ qui le tirent et le façonnent pour obtenir la forme cherchée. L'épaisseur finale de la tôle dépend de l'écartement des deux derniers cylindres.

1° *La table* (DD') (partie centrale cylindrique qui va servir à travailler la pièce de métal soumise au laminage).

2° *Les tourillons* (TT') (parties cylindriques se plaçant dans les coussinets C et permettant non seulement de supporter le cylindre du laminoir mais d'en régler la distance par rapport au cylindre immédiatement supérieur ou inférieur).

3° *Les trífles* (EE') parties extrêmes dont la section a la forme d'une sorte d'étoile, c'est-à-dire présentant des saillants et des rentrants.

Les trèfles servent à accoupler longitudinalement les cylindres des laminoirs, soit avec d'autres cylindres placés dans le même axe horizontal ; soit avec des trains d'engrenages, qui eux-mêmes sont commandés par la machine motrice du laminoir.

Fonctionnement. — On peut supposer un train de laminoir très simple, composé de deux ou trois rouleaux l'un au-dessus de l'autre.

Si on veut laminier un morceau de métal il faudra le faire passer dans une série de cannelures qui seront de plus en plus petites.

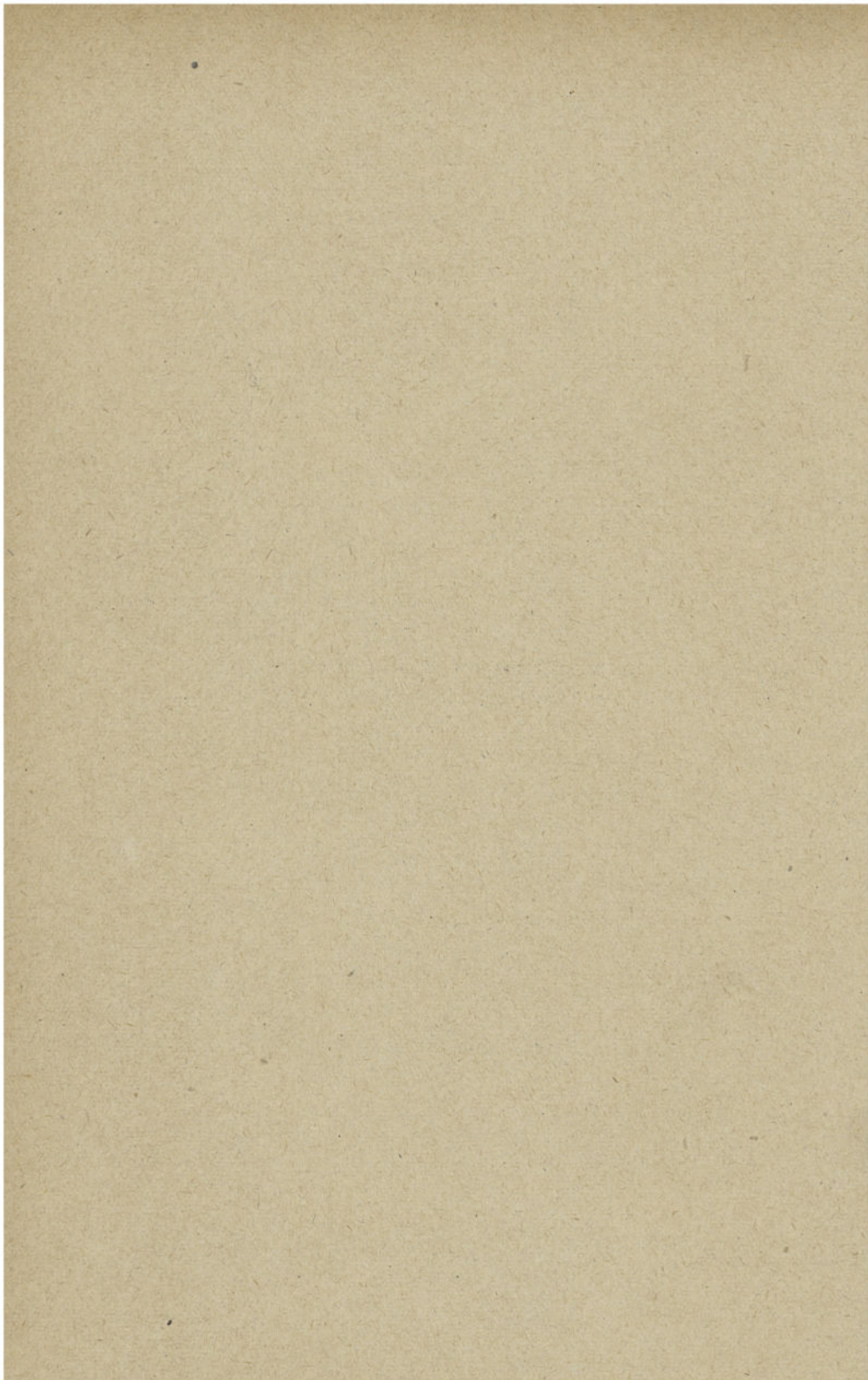
La dernière cannelure aura le profil demandé.

Quand il s'agit par exemple d'obtenir des tôles, il est évident que la « table » du cylindre de laminoir est complètement plane (cas de la fig. 15).

Dans ce cas, on fait passer le morceau de métal entre des cylindres de plus en plus rapprochés, et on obtient finalement la tôle à l'épaisseur voulue, les distances entre les cylindres sont réglées en progression décroissante.

La distance (entre les génératrices les plus rapprochées) des deux derniers cylindres travaillant sur la tôle, représente naturellement l'épaisseur de cette dernière.





QUATRIÈME PARTIE

ÉTUDE DE LA FABRICATION DE L'ACIER

CHAPITRE XI

GÉNÉRALITÉS ET NOTIONS PRÉLIMINAIRES SUR LES CONVERTISSEURS BESSEMER

Quand on étudie la proportion de carbone qui est contenue dans *la fonte*, par rapport à celle du même corps, contenue dans l'acier, *on voit*, conclusion importante, *qu'il suffit d'enlever du carbone à la fonte pour produire de l'acier*.

Il est donc, *théoriquement du moins*, assez naturel, de concevoir un appareil où la fonte serait convenablement traitée pour lui enlever du carbone jusqu'à une limite voulue qui, une fois atteinte, marquerait la fin de l'opération.

Nous allons voir d'ailleurs par la suite, que les choses ne se passent pas aussi facilement que l'esprit semble les concevoir.

Retenons seulement que les grandes lignes de la production de l'acier sont définies comme nous venons de le faire, quitte cependant à porter l'attention, sur les points qui, pratiquement, constituent les précautions à prendre pour arriver aux résultats que l'on se propose.

Méthodes utilisées. — Il existe trois grandes méthodes pour la fabrication de l'acier.

- 1° *L'affinage pneumatique ;*
- 2° *L'affinage au four Siemens-Martin ;*
- 3° *La fabrication au creuset.*

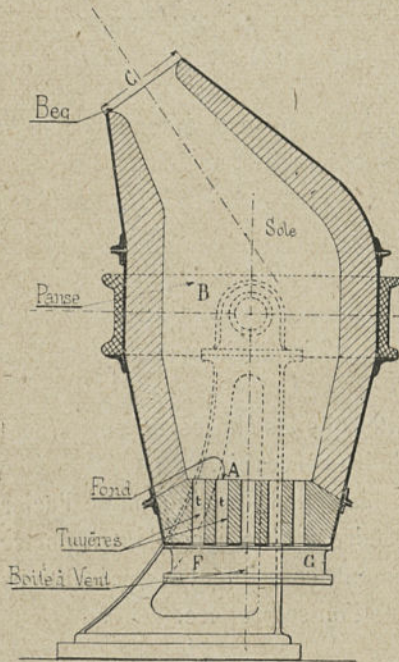
Le procédé de fabrication par affinage pneumatique est plus connu sous le nom de *procédé Bessemer* ou de procédé au *convertisseur*.

Le procédé Thomas dont on parle également beaucoup, n'est autre qu'une variante du procédé Bessemer.

A. — Étude de l'affinage pneumatique

Historique. — En 1855, Henry Bessemer commence à appliquer pour la première fois cette méthode de travail, qui consiste à lancer des jets d'air comprimés à travers un

Fig. 16. — **Convertisseur Bessemer**
Coupe longitudinale.



bain de fonte chauffée. Ces jets d'air, tout en brassant le bain de métal en fusion, brûlaient le carbone dans de certaines limites et affinaient la fonte.

L'année suivante, Bessemer constate un fait extrêmement intéressant : c'est qu'une fois l'opération commencée, il est inutile de continuer à chauffer, la chaleur produite dans l'opération étant suffisante pour la mener à ses fins.

La raison des calories fournies, en quelque sorte, d'une façon automatique est la suivante :

Les éléments qu'il faut chasser de la fonte qui sont le *carbone*, le *silicium* et le *manganèse* fournissent en brûlant la quantité de calories nécessaires.

Au point de vue du prix de revient de fabrication, c'était une belle

découverte, car étant donné les quantités de matières traitées (on affine jusqu'à 15 000 kilogrammes, parfois 20 000 kilogrammes de fonte simultanément) on réalisait une grande économie de combustible.

On voit donc, et la haute température que l'on obtient dans ce procédé est là pour corroborer nos dires (puisque'il s'agit de l'ordre de 2000°) combien la découverte d'Henry Bessemer était intéressante.

Nous n'avons parlé ici ni du *phosphore*, ni du *soufre* qui sont aussi des impuretés comme nous le savons.

Nous supposerons, pour le moment, que les fontes que nous allons traiter au Bessemer, ne contiennent ces éléments *qu'en proportions négligeables*, quitte à revenir plus tard sur cette question.

B. — Description du convertisseur Bessemer (figure 16)

Beaucoup de nos lecteurs savent ce que sont les *convertisseurs*. De nombreuses publications en ont déjà donné des photographies et des descriptions.

Reprenons la question pour les personnes qui ne seraient pas au courant de ces appareils.

Le convertisseur Bessemer a la forme d'une sorte de grosse cornue en tôle d'acier.

1° La partie inférieure (A), s'appelle *le fond* ;

2° La partie centrale (B), de plus gros diamètre, en général, s'appelle la *panse* ;

3° Enfin l'extrémité supérieure où s'opère le chargement s'appelle le *bec* (C).

Le convertisseur est articulé par 2 tourillons, D et E, dont l'un, D, est creux et sert de passage à l'air comprimé envoyé par une machine soufflante.

L'emploi de l'air est nécessaire pour l'opération de *décarburation* et l'élimination d'impuretés telles que le *silicium* et le *manganèse*.

La partie inférieure du convertisseur comprend une sorte de récipient appelé « *boîte à vent*. »

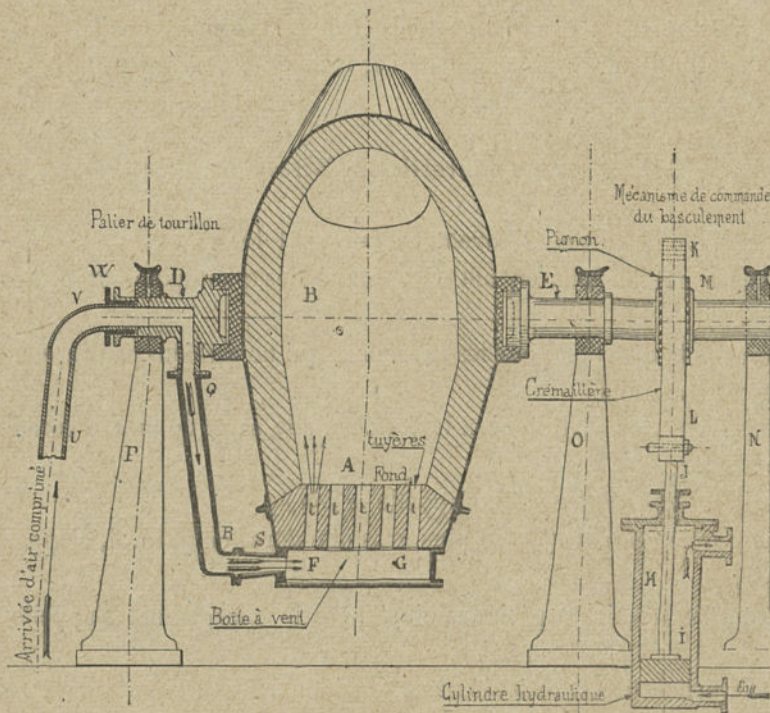
La boîte à vent, où arrive l'air comprimé, distribue ce dernier à tra-

vers la masse de fonte par le moyen d'une série de tubes appelés « tuyères » portées par le fond du convertisseur.

Le lecteur comprendra par la suite comment cela fonctionne.

Le tourillon qui est creux (voir figure n° 17) recevant l'air de la machine soufflante, l'envoie ensuite dans une conduite qui longe les parois du convertisseur et qui va déboucher dans la *boîte à vent*.

Fig. 17. — Convertisseur Bessemer. Coupe verticale suivant l'axe des tourillons.



Il est intéressant de remarquer que la disposition qui a permis d'utiliser un tourillon comme arrivée d'air comprimé, donne la faculté d'envoyer du vent au convertisseur quelle que soit la position de ce dernier.

Enfin le garnissage intérieur de l'appareil est formé de ce que l'on appelle un *pisé* ou *enduit siliceux* qui sera porté à très haute température avant le commencement de l'opération.

L'*enduit siliceux* caractérise le procédé Bessemer, relativement à l'*enduit basique* du procédé au convertisseur Thomas.

L'*enduit basique* s'appelle aussi pisé « *dolomitique* », la dolomie étant un carbonate double de magnésium et de calcium.

L'*enduit intérieur* d'un convertisseur prend le nom de « *sole* ». D'où l'expression de « *sole basique* » souvent employée pour désigner le *pisé dolomitique* qui constitue la sole d'un convertisseur Thomas qui sera étudiée plus loin.

C. — Phases diverses de la fabrication de l'acier au convertisseur Bessemer

Nous pouvons diviser la fabrication de l'acier au convertisseur, en sept phases successives que nous allons étudier.

1° *La période de chargement.*

2° *La période de formation de la scorie* (ou résidu mangano-siliceux dans le cas qui nous occupe.)

Cette deuxième période est désignée par les métallurgistes sous le nom de « *scorification* », en raison de son rôle. [*Elle est caractérisée par le jaillissement d'une véritable gerbe d'étincelles au bec du convertisseur.*]

3° *La période de décarburation lente.* — Cette troisième période correspond à la naissance de l'acier dans le bain de métal que contient l'appareil. [*Cette phase est caractérisée par l'apparition de la flamme au bec du convertisseur.*]

4° *La période de décarburation rapide.*

Pendant cette période la décarburation de la fonte se fait complètement.

(Elle est caractérisée par un jaillissement de flamme très tendue et par des grondements sourds qui se font entendre dans le convertisseur).

A ce moment une partie du fer produit s'oxyde.

5° *La période de raffinage.*

6° *La période de recarburation.*

7° *La période de coulée.*



CHAPITRE XII

TRAVAIL DU BESSEMER

1° Chargement du convertisseur. — L'intérieur du convertisseur a été au préalable chauffé avec un chargement de coke afin de porter à très haute température le garnissage intérieur (ou sole).

Cé réchauffage préalable, cette *mise en train* est d'ailleurs indispensable pour amorcer l'opération.

Puis l'appareil étant vidé (*par basculage*) du combustible en question, il est alors prêt à recevoir la fonte en fusion que l'on va traiter.

Pour le remplissage on place l'appareil horizontalement de façon à charger par l'ouverture (*ou bec*) qui est à la partie supérieure quand le convertisseur est en position de travail.

a) Pour le chargement, on peut amener vis-à-vis du bec, une sorte de poche contenant la fonte en fusion, cette fonte provenant d'un des cubilots placé à proximité.

b) On peut encore amener la fonte de première fusion provenant d'un haut-fourneau qui sera mis en relation avec le convertisseur par une canalisation (ou chéneau) appropriée.

c) Enfin, il y a certaines aciéries qui emploient des « *mélangeurs* » qui sont utilisés, quand on a lieu de se méfier de la régularité de composition des fontes employées.

Les mélangeurs uniformisent le pourcentage des impuretés sur une masse de fonte importante.

Cette méthode donne donc un acier de meilleure composition. Que la fonte provienne d'un cubilot, d'un haut-fourneau, ou d'un mélangeur le traitement que nous allons exposer reste identique.

Nous devons déjà noter, pour bien différencier cette méthode de fabrication des suivantes, que la *fabrication au Bessemer a pour caractéristique principale la rapidité de l'opération.*

C'est d'ailleurs ce qui tranche déjà nettement les idées que l'on doit se faire entre le Bessemerage et notamment le procédé Siemens-Martin.

Quand nous parlons de rapidité de l'opération nous y comprenons, bien entendu, le temps du changement; car, plus ce dernier sera vite effectué, plus la poche conservera la chaleur emmagasinée au moment du réchauffage initial.

Durée. — Dans l'opération au convertisseur Bessemer on compte 30' à 45', alors que pour le procédé Martin la durée de fabrication se prolonge pendant environ dix heures. Avant d'effectuer le premier chargement le chef de fabrication a calculé la quantité de fonte qu'il doit envoyer dans le convertisseur afin d'avoir environ 50 centimètres de hauteur de bain de métal quand le convertisseur est dans la position verticale.

Il doit également prendre comme niveau *maximum-maximorum* du bain de fonte, la partie inférieure des tuyères, le convertisseur étant horizontal.

Avant que le convertisseur ne soit redressé on envoie (et pour cause...!) le vent sous pression dans l'appareil.

On ne peut faire autrement car la fonte irait boucher les tuyères et remplir les canalisations destinées à l'air comprimé ainsi que la boîte à vent.

Le lecteur comprendra que pareille opération ne se fait pas à la légère, alors que l'on va traiter jusqu'à 20 000 kilogrammes de fonte en une seule fois et en une demi-heure environ.

Il s'agit d'abord de bien calculer son affaire pour aller très vite ensuite... pour éviter ce que les gens de métier appellent « *un loup* ».

La pression du vent envoyé par les tuyères est de 1,5 à 2 atmosphères.

A cette pression la masse de métal est traversée. La deuxième période commence alors.

DEUXIÈME PÉRIODE : *Production de la scorie ou « scorification ».* —

L'air arrivant par un très grand nombre de trous (voir figure 16) va brasser la fonte, comme on brasserait l'eau d'un récipient en y soufflant fortement avec des tubes recourbés.

L'air tout en remuant la masse de métal va commencer à agir comme « *comburant* ».

Son oxygène va d'abord brûler le silicium (Si) contenu dans la fonte, ce qui va donner naissance à de la silice (SiO_2).

[Dans cette formule le symbole Si représente 28 grammes alliés à 2 fois 16 grammes ou 32 grammes d'oxygène].

Il est à remarquer que la période qui correspond à l'oxydation du silicium est certainement une des plus importantes du travail au convertisseur.

Nous dirons même plus, pour le traitement au Bessemer *si le silicium n'existait pas dans la fonte*, il faudrait l'y ajouter ! car c'est lui qui, par sa combustion, devient le *grand producteur de calories*.

Cette chaleur est absolument nécessaire pour faire marcher l'opération *puisque plus rien de l'extérieur* ne va venir réchauffer le bain de métal.

Au moment où le silicium va brûler, on verra jaillir par le bec de la cornue une véritable gerbe d'étincelles.

Cette période de la fabrication est bien caractéristique pour les personnes qui suivent le travail et même pour les simples spectateurs.

Nous avons assisté à des opérations au convertisseur Bessemer et nous devons dire que ce travail mérite d'être vu.

Le *manganèse* ne tarde pas à être brûlé à son tour pendant le jaillissement des étincelles.

Il se forme, *par le départ combiné du manganèse et du silicium*, le résidu appelé *Scorie* qui reste dans le bain et lui conserve sa chaleur.

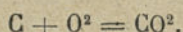
Formation des étincelles. — Pendant le soufflage, l'air comprimé projette dans le hall des convertisseurs Bessemer *une grande quantité de petites parcelles de scories incandescentes* qui jaillissent par le bec du convertisseur.

D'où l'explication de la belle gerbe d'étincelles que l'on voit se produire pendant la scorification.

En résumé, le lecteur retiendra de ce que nous venons d'étudier, que la Scorification est une période de réchauffage intense du bain de fonte auquel l'oxydation du silicium apporte une quantité considérable de calories, chose fort intéressante pour la diminution du prix de revient de l'acier ainsi obtenu puisqu'il ne nécessite pas de chauffage extérieur.

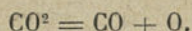
TROISIÈME PÉRIODE : *Décarburation lente.* — La période de décarburation lente correspond à la transformation de la fonte en acier... C'est l'origine du départ du carbone, car, ne l'oublions pas, nous poursuivons toujours ce but précis : la *décarburation de la fonte*.

Dès que le carbone brûle, il va donner naissance à la réaction :



Cet acide carbonique se décompose sous l'influence de la haute température régnante, il se produit un phénomène de *dissociation*, ce mot n'est en somme, que l'équivalent du mot : *désassociation* qui exprimerait bien la chose s'il était utilisé.

L'équation chimique du phénomène est :



L'oxygène se détache de l'acide carbonique et finalement au bec du convertisseur on verra sortir de l'oxyde de carbone.

Cet oxyde de carbone en arrivant au contact de l'air atmosphérique du hall des convertisseurs, va se mettre à brûler avec une flamme que l'on verra se former au bec de l'appareil.

Cette flamme commence d'abord par être assez faible : elle indique par son apparition que le carbone commence à partir.

Puis la flamme augmente peu à peu. Nous allons entrer dans la période suivante.

QUATRIÈME PÉRIODE : *Décarburation rapide.* — A mesure que la flamme (indiquant la combustion du carbone) se tend de plus en plus, elle devient de couleur vive.

La température augmente, elle augmenterait tellement si on laissait tout aller sans y prendre garde, que la scorie pourrait arriver à se décomposer, ce qui entraînerait la libération du silicium et du manganèse et ce qui annulerait tout le travail de scorification déjà acquis.

A ce moment, les métallurgistes pour éviter cela sont obligés de faire

placer la poche horizontalement et d'y introduire une certaine quantité de *ribblons*.

Ces *ribblons* (ou ferraille) vont refroidir le bain dans une certaine limite et permettront de ne point perdre le travail de scorification.

Puis l'opération continuant, on entend dans l'appareil de *forts grondements*.

Ce bruit est une des caractéristiques de la période de décarburation rapide.

Que se produit-il donc à l'intérieur du bain de fusion?

Voici :

La scorie silico-manganésée, se chargeant de plus en plus en oxygène, devient *pâteuse*. (Chose que nous avons déjà expliquée dans la fabrication du fer).

Les jets de vent à haute pression soulèvent cette masse visqueuse qui retombe avec bruit faisant résonner le convertisseur. Il est facile d'assimiler ce bruit à celui que ferait un *corps pâteux* (1) placé dans un récipient métallique et chauffé sur un fourneau quelconque.

Pendant cette période que les personnes du métier appellent aussi *celle du « bouillonnement »*, la scorie fortement oxydée par les jets d'air continuels, arrive à son tour à être très *décarburente*.

On voit donc une des raisons qui font que les *métallurgistes* ont tout intérêt à *ne pas laisser disparaître cette scorie qui est un des agents de fabrication à un moment donné* (2).

Le carbone va alors s'éliminer rapidement, d'où le nom de *décarburation rapide* que nous avons préféré adopter pour dénommer cette phase du bessemerage, car elle le caractérise bien dans l'esprit de nos lecteurs.

On voit alors *le bain bouillonner, se boursoufler tout comme le lait qui monte*, par suite de la formation d'une pellicule au-dessus de sa surface... et qui déborde ensuite.

Dans notre assimilation, la pellicule du lait correspond à la masse de

(1) Et nous ajouterons : « assez mauvais conducteur de la chaleur » pour parfaire notre comparaison.

(2) Cela explique l'artifice que l'on est obligé d'employer (voir page précédente) pour abaisser la température du convertisseur, afin d'éviter la destruction de la scorie « *par la dissociation* ».

scorie du bain... qui, elle, comme le lecteur l'a deviné, est loin d'être une pellicule.

Cependant notre comparaison aidera à comprendre et à se rappeler.

On verra bien souvent la scorie bouillonnante monter toujours et se projeter quelquefois hors du convertisseur.

Le carbone brûlé (et transformé dans le bain en oxyde de carbone) continue à la sortie sa combustion complète, en se muant en acide carbonique, phénomène qui se produit avec flamme.

Ce que nous disons ici est fort important car, puisque c'est le carbone de la fonte qui est cause de la flamme, *cette flamme en cessant devra nous indiquer la transformation totale de la fonte en acier.*

Nous irons même plus loin, *si le fer pouvait exister* à haute température en présence d'agents oxydants très intenses (*tels que l'air et la scorie*) le carbone total de la fonte, étant parti, il nous resterait du fer pur.

Nous verrons que cette hypothèse ne peut être envisagée.

En résumé, nous allons retenir de l'Etude précédente, ce fait important :

L'indice de la fin de la période de décarburation rapide est la fin de la phase de flamme d'oxyde de carbone brûlant au bec du convertisseur.

Voilà pourrait-on dire une première approximation. Nous serons plus complets encore en signalant que la fin de la combustion de l'oxyde de carbone est marquée *par une luminosité spéciale* produite par certains gaz qui se maintiennent à l'incandescence et dont la majeure partie est constituée par de l'AZOTE RÉSIDUEL.

Cet Azote résiduel provient de l'air comprimé envoyé par les machines soufflantes à travers la masse de métal (1).

Nos lecteurs pour retenir ce détail ne pourront mieux comparer l'azote incandescent, ce gaz inerte, *qu'à un immense bec Auer* qui conserverait son état incandescent après l'extinction du jet de gaz d'éclairage dans lequel il est baigné.

(1) Puisque dans la composition de l'air insufflé il entre : de l'Oxygène [utilisé] et de l'Azote [qui, non utilisé doit se retrouver comme agent résiduel].

Le bec Auer n'est-il point par sa masse incandescente, masse inerte et inactive, comme l'azote incandescent du convertisseur Bessemer qui, (pendant la période de décarburation) est entouré d'une robe de gaz en combustion. Notre comparaison aussi approximative qu'elle puisse paraître aidera à nous faire comprendre plus facilement.

Revenons maintenant à la fabrication de l'acier.

Les moyens optiques en quelque sorte que nous venons d'étudier nous permettent donc de déceler le *départ complet du carbone* contenu dans la fonte.

Aussitôt après que cet élément est parti il est suivi très rapidement par l'élimination du bain de métal du *manganèse* et du *silicium* qui *n'ont pas été transformés en scories*.

Comme malgré toutes les précautions que l'on prend il est impossible d'arrêter une réaction chimique d'une part et les machines soufflantes d'autre part... avec une exactitude mathématique juste au moment où le carbone est parti, et où le manganèse et le silicium sont oxydés, *le fer produit s'oxyde en partie*.

Voilà pourquoi, comme nous le faisons prévoir à nos lecteurs, les choses sont un peu plus compliquées que ne le penserait un débutant qui ne verrait dans la fabrication Bessemer, qu'une opération où l'on décarbure la fonte jusqu'à un certain point, donnant ainsi l'acier révé...

Le lecteur qui aura suivi notre étude comprendra, au contraire, que *le but proposé est dépassé pour ainsi dire automatiquement* et même, dirons-nous, ce but serait-il dépassé pendant un temps très faible... le fait n'en existe pas moins.

Si donc, on arrêtait l'opération à ce moment on obtiendrait : *non de l'acier*, mais ce que les forgerons appellent avec leurs expressions imagées : « *du fer brûlé* ».

Comme le « fer brûlé » n'est susceptible d'aucun usage industriel, il va falloir avant d'opérer la coulée du Bessemer procéder au « *raffinage* ».

CINQUIÈME PÉRIODE : *Le raffinage*. — L'*oxyde de fer* qui s'est produit à la fin de la précédente période doit donc absolument être éliminé pour produire un métal sain.

Que va-t-on faire pour se débarrasser de cet oxyde de fer, si gênant?

Voici la réponse :

Les métallurgistes ont cherché à rajouter dans le bain de métal un corps avide d'oxygène et qui, par le résultat de sa combinaison avec ce dernier ne pourrait être nuisible pour la qualité du futur acier.

Ils ont trouvé que le *manganèse* permettait d'obtenir le résultat cherché.

En effet, ce corps possède une grande affinité pour l'oxygène et il retransformera l'oxyde de fer en fer. Ce dernier sera donc de ce fait purifié. D'où le nom de « période de raffinage ».

Cependant une remarque s'impose à notre avis.

Le lecteur pourra peut-être trouver bizarre, qu'après avoir laissé partir le manganèse dans la période N° 4, on vienne en remettre dans la période N° 5.

La chose est pourtant facile à comprendre, car on n'est pas maître de conduire pareille opération comme l'on veut.

Elle est d'abord très rapide (le bessemerage ne dure que 30 à 45 minutes) et le nombre de périodes montre que chacune d'elles n'a pas grande durée) le procédé que nous indiquons donne toujours le moyen de savoir *ce que l'on rajoute alors qu'il est pour ainsi dire pratiquement impossible de savoir ce qui reste dans le convertisseur comme manganèse*, cela au moment voulu (1).

La façon de pratiquer le raffinage est donc basée d'une part :

1° *Sur l'élimination totale du manganèse contenu initialement* dans le bain de métal ;

2° *Sur ce que l'on est toujours sûr de ne rajouter qu'une quantité déterminée* de manganèse de raffinage, au moment voulu.

SIXIÈME PÉRIODE : *La recarburation*. — Il est nécessaire pour obtenir de l'acier de placer dans le bain de métal totalement décarburé une proportion voulue de carbone pour arriver à une qualité de métal déterminée.

Le manganèse dont nous avons parlé dans la précédente phase est

(1) Car le peu de temps dont on dispose ne permet pas de faire des analyses et des essais sérieux et au fond parce que la façon de procéder expliquée est pratiquement, la meilleure et la plus rapide pour connaître ce que le bain contient finalement, comme *manganèse*.

Tel est notre avis.

rajouté en même temps que le carbone de la période de recarburation.

On fait en un mot une addition finale de carbone et de manganèse dans une proportion telle :

1° Qu'il y ait, relativement *plus de carbone*, si l'on veut obtenir la qualité dite « *acier dur* ».

2° Qu'il y ait, relativement *moins de carbone*, si l'on veut obtenir la qualité dite « *acier doux* » (ce dernier étant plus voisin du fer que le précédent).

On doit également tenir compte pour ce « *mélange correctif* » qu'il faudra additionner le bain en fusion d'une *proportion de manganèse d'autant plus grande* que l'on présume le bain de métal plus oxydé.

En résumé : Le lecteur devra retenir que les deux opérations de raffinage et de recarburation se résolvent simultanément.

Les métallurgistes aiment mieux pour gagner du temps procéder ainsi, car l'on abaisse le convertisseur qu'une seule fois et « *l'on fait d'une pierre deux coups* ».

Le mélange correctif *est de deux sortes* suivant l'acier à obtenir et il correspond aux dénominations ci-dessous, on ajoute, soit :

1° Une fonte manganésée [très chargée en carbone] appelée « *spiegel-eisen* » en terme de métier.

Cette fonte manganésée donne l'*acier dur*.

2° Un ferro-manganèse [peu chargé en carbone] qui donne au convertisseur de l'*acier doux* ou de l'*acier très doux* (voisin du fer).

Le brassage du bain de métal en fusion et du « *spiegel-eisen* » ou du « *ferro-manganèse* » se fait par les remous inévitables que donne la coulée du métal.

SEPTIÈME PÉRIODE : *La coulée*. — On coule le métal dans une poche spécialement disposée pour permettre à la scorie de ne point venir gêner le travail. (Elle est munie d'un dispositif qui permet de puiser le métal *au bas de la poche* où il est le plus pur et *non en dessus* où se trouve la scorie qui surnage par différence de densité.)

Puis la poche est enlevée à la grue (généralement une *grue pivotante*) qui va distribuer le métal dans des sortes de moules métalliques que l'on appelle des « *lingotières* ».

Ces « *lingotières* » possèdent ce que l'on appelle de la *dépouille*,

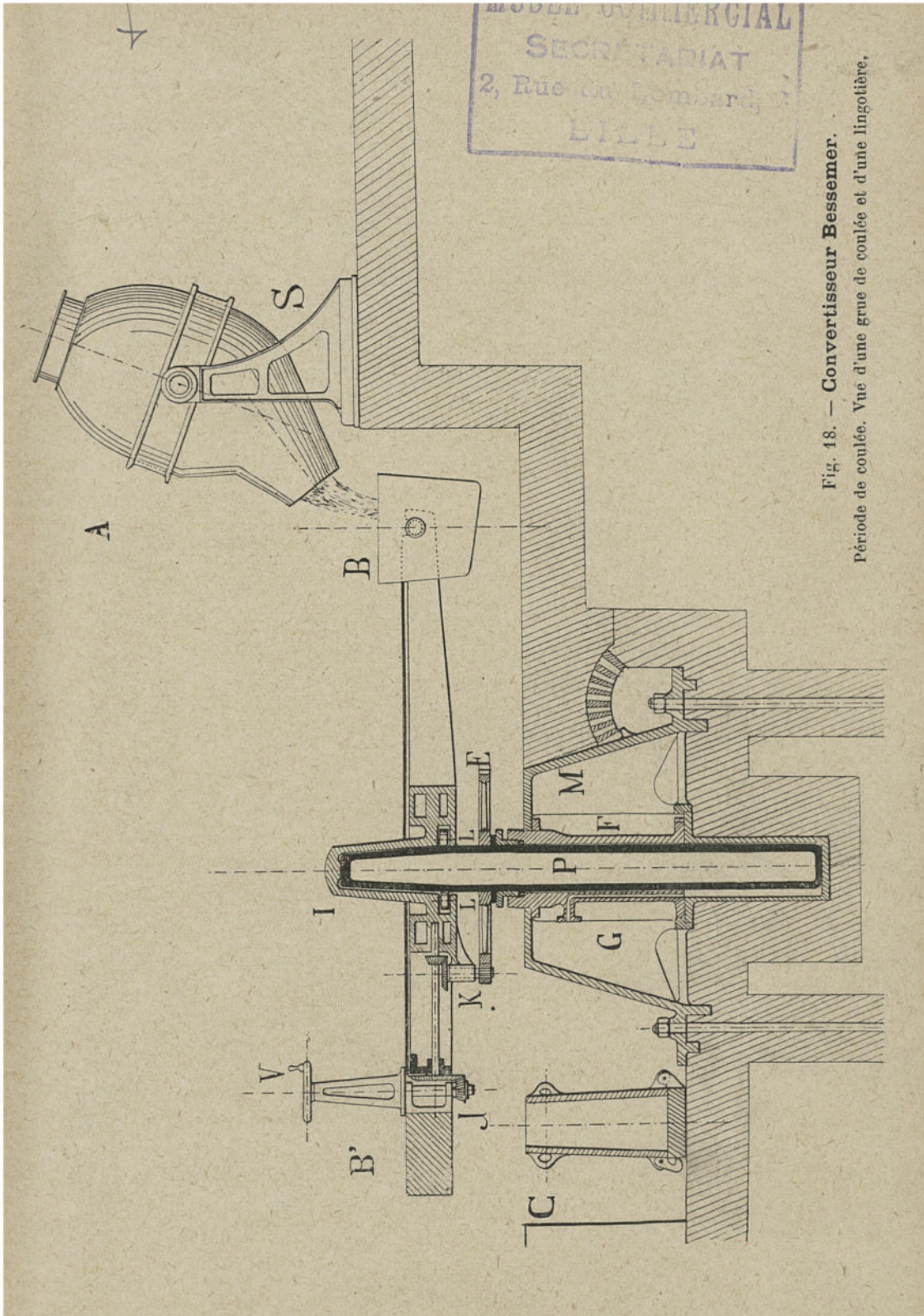
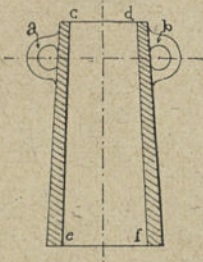


Fig. 18. — Convertisseur Bessemer.

Période de coulée. Vue d'une grue de coulée et d'une lingotière.

c'est-à-dire que le métal y prend la forme approximative d'une sorte de « *tronc de pyramide* ».

Cette forme facilite le « *démoulage* », c'est-à-dire la sortie du métal solidifié ou « *lingot* » de la forme qui a servi à l'obtenir. (Voir fig. 19).



« Coupe d'une lingotière pour couler l'acier. »

Fig. 19.

Le bloc d'acier coulé sera ensuite, soit passé dans des « *laminoirs* » afin d'obtenir des rails, des poutrelles, des aciers profilés, etc., etc., ou au « *marteau-pilon* » (fig. 14) où il recevra toute forme appropriée que nécessitera son emploi ultérieur.

(Il reste sous-entendu que les lingots avant d'être laminés ou martelés seront réchauffés à température voulue. D'où l'explication de l'utilité des « *fours à réchauffer* » que le lecteur retrouvera dans la visite de l'Acierie, étudiée au Chapitre suivant).

CHAPITRE XIII

VISITE D'UNE ACIÉRIE BESSEMER AGENCÉE POUR LA FABRICATION DES ACIERS PROFILÉS

(Suivre fig. N° 20)

Nous allons, cher lecteur, nous transporter par la pensée, dans une grande aciérie afin de la visiter en détail.

Nous supposons que cette usine se trouve près d'une large voie fluviale par où le minerai et la houille vont arriver.

Nous admettrons de plus que les Ingénieurs qui ont étudié cette installation, ont eu le souci de réduire la main-d'œuvre autant qu'ils le pouvaient en utilisant *la manutention mécanique*.

(Toutefois nous signalons que le chargement des hauts-fourneaux est fait avec des monte-charges ordinaires, le lecteur pourra très bien, s'il veut étudier à son tour une installation utilisant le maximum, pratiquement en usage, de manutention mécanique, remplacer les monte-charges ordinaires par des appareils du genre de ceux que nous avons déjà décrits, au sujet de la suppression de tout personnel utilisé au gueulard).

En tout état de cause l'aciérie que nous visitons emploie beaucoup la descente des matériaux *par la simple gravité*, d'où grande économie de main-d'œuvre dans le chargement des wagonnets transportant le minerai et le coke.

NOTRE PROGRAMME DE TRAVAIL

Quand on visite une usine, il faut toujours *procéder d'une façon méthodique*, c'est-à-dire suivre les matières premières dès leur arrivée et les accompagner dans leurs transformations successives jusqu'au moment

où elles seront passées à l'état de matériaux utilisables par le Commerce ou l'Industrie.

Notre programme sera, comme le lecteur pourra en juger, des plus intéressant :

1° Visite aux appontements et étude générale des procédés de déchargement des steamers desservant l'usine.

2° Emmagasinement des matières dans les silos à déchargement automatique.

3° Arrivée de la houille aux fours à coke ; quelques mots sur ces appareils.

4° Visite rapide de la batterie de chaudières à vapeur.

5° Visite de la salle des machines soufflantes des hauts-fourneaux.

6° Un coup d'œil général sur la fonderie de première et de seconde fusion (hauts-fourneaux et cubilots).

7° Visite du hall de Bessemerage.

8° Un coup d'œil dans la salle des machines à vapeur et des machines hydrauliques.

9° Visite du hall de laminage.

10° Enumération des services généraux.

1° Visite aux appontements et étude générale des procédés de déchargement des steamers desservant l'usine. — Nous allons d'abord nous promener sur les appontements en quête de choses intéressantes.

Justement nous apercevons deux steamers amarrés à quai et en cours de déchargement.

Nous apprenons qu'un de ces vapeurs que nous appellerons (A) (voir plan), arrive d'Espagne avec des minerais de Bilbao, et que l'autre (B) nous apporte de la houille d'Angleterre. Examinons d'abord le déchargement du minerai.

Une grue C, munie d'une benne dite « benne preneuse » descend cette dernière dans la cale du bateau.

La benne remonte chargée, puis la grue faisant demi-tour, déverse le minerai dans un entonnoir spécial indiqué en D.

Le déversement est automatique la benne s'ouvrant à la demande du wattman conduisant la grue.

De l'entonnoir D, le minerai tombe sur un « transporteur » (E), sorte de tapis roulant constitué de différentes manières, et très souvent par une sorte de large courroie en caoutchouc-toile.

2° Emmagasinement des matières dans les silos. — Cette courroie sans-fin va amener notre minerai dans des sortes de vastes récipients, appelés silos ou *accumulateurs à minerai* d'où ce dernier partira pour être utilisé (Voir silos N° 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Les silos sont disposés en forme d'entonnoirs, on peut les concevoir soit *entièrement métalliques*, construits en tôle et soutenus par des charpentes également métalliques.

On peut également les concevoir mixtes, les silos proprement dits en *ciment armé* et la *carcasse, métallique*. Cependant dans les installations bien construites les ingénieurs calculent la résistance de la charpente de soutien et des contreforts soutenant les silos sans tenir compte de la résistance du ciment.

Il ne faudrait pas, en effet, que sous l'influence des dégradations que ne manque pas de produire le minerai tombant sur le ciment, que l'ouvrage vienne à la longue à céder. *Le ciment joue* le rôle de remplissage.

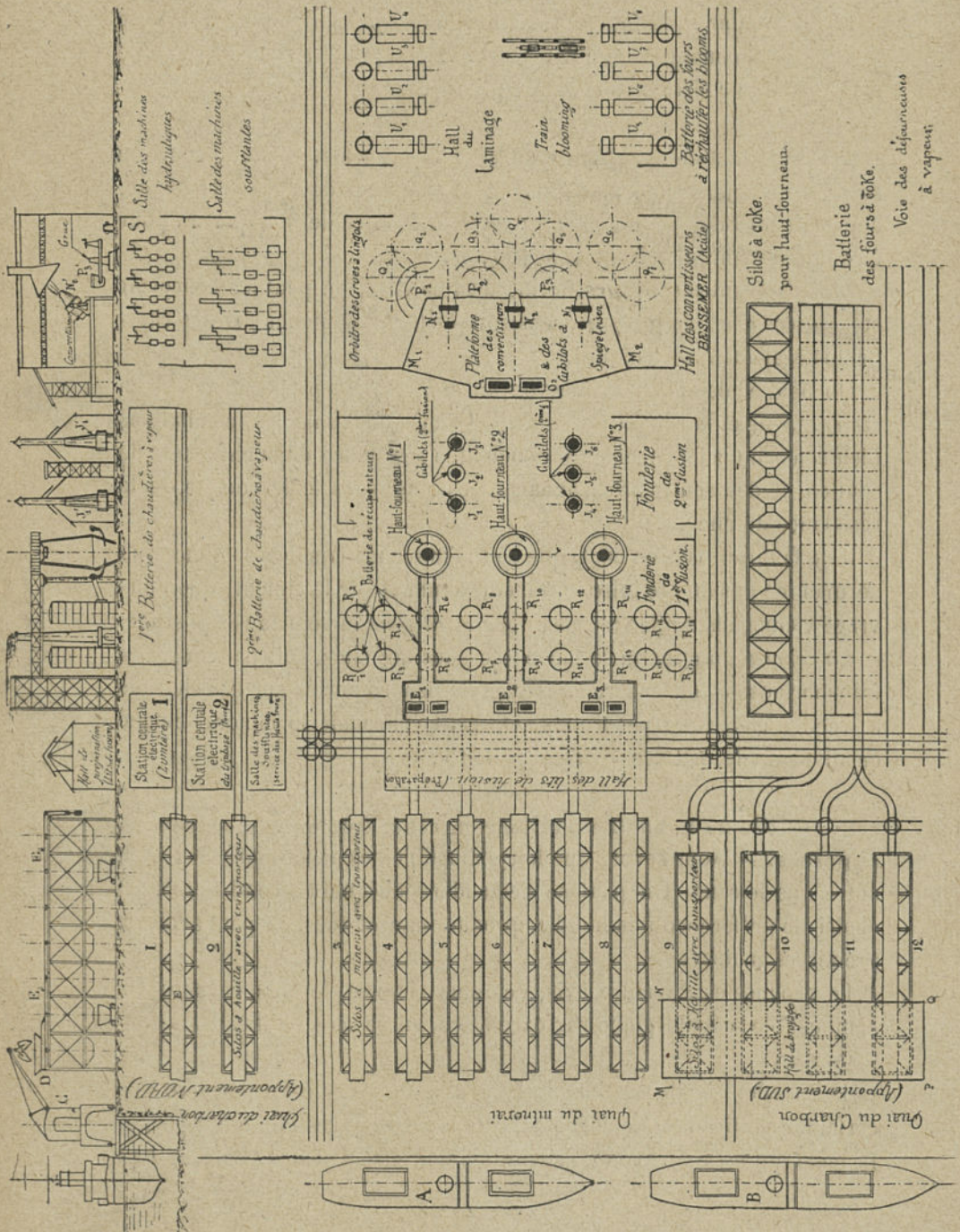
La reprise du minerai se fait en-dessous des silos, soit par courroies transporteuses, soit encore au moyen de bennes portés sur des chariots à traction électrique par trolley. On peut concevoir le minerai amené ensuite sous le hall des « *lits de fusion* ».

3° Arrivée de la houille aux fours à coke. Quelques mots sur ces appareils. — Nous savons que le combustible des hauts-fourneaux n'est autre que le coke. On peut se demander pourquoi ce combustible est choisi de préférence à la houille, produit naturel que l'on peut avoir de premières mains.

La réponse est, à notre avis, des plus simples, le coke constitue le combustible métallurgique par excellence, en ce sens qu'il est *relativement pur*.

1° En effet : la distillation de la houille enlève à cette dernière une certaine quantité d'éléments, notamment le soufre qui est éliminé en partie. Le coke qui est employé en métallurgie doit être dépourvu de *soufre* et

g. 20. — Disposition générale récapitulative d'une aciérie Bessemer.



de *phosphore* qui sont des éléments nuisibles comme nous l'avons déjà signalé.

2° La distillation de la houille donne des sous-produits intéressants dont la vente vient *dégréver* d'autant le *prix de revient de la tonne de fonte*.

Le *benzol* est un de ces sous-produits, nous le citons car il intéresse les Automobilistes qui liront cet ouvrage.

Donc le lecteur retiendra qu'une aciérie recevant son combustible *sous forme de houille*, ce qui est le cas de l'usine que nous visitons, devra posséder « *une batterie de fours à coke* » afin de fabriquer un combustible approprié à la fabrication de la fonte.

LES ACCUMULATEURS A HOUILLE

(Voir d'une part 1 et 2 et d'autre part 10-11 et 12)

La houille arrivant par bateaux sera emmagasinée dans une série de « *silos* », que nous supposerons être des silos métalliques. Suivons l'opération : elle est analogue à celle de l'emmagasinement du minerai. Nous décrirons ici les silos pour la houille des chaudières. *Les grues électriques*, que nous supposerons être en même temps *des grues dynamométriques*, prennent le charbon à fond de cale *et le pèsent en même temps*.

La « *benne preneuse* » qui a pris le charbon à fond de cale le remonte, puis pivotée par la grue va déverser ce combustible dans un vaste entonnoir de chargement.

De l'entonnoir le charbon tombe sur un transporteur à courroie qui amène le charbon au-dessus des silos ou vaste réservoir à charbon.

Les silos sont troncs coniques et peuvent (en ouvrant leur partie inférieure) charger des wagonnets qui seront ensuite amenés par gravité jusqu'aux « *fours à coke* ». Le sol de l'usine a été mis légèrement en pente pour obtenir ce desideratum.

Quelques mots sur les fours à coke

Les fours à coke se construisent par batteries comportant de nombreux éléments.

Un élément comprend un espace qui forme la chambre de cuisson de la houille en vase clos. (Voir figure 20 *bis* la coupe d'un élément.)

On effectue le chargement de la houille, après broyage, afin d'avoir du *coke serré*.

Le broyage, disons-nous, donne du coke serré qui est plus résistant, car sous l'influence de la charge, dans le haut-fourneau, le combustible ne doit pas s'écraser et former tampon, car le soufflage deviendrait impossible.

Ce que nous disons est important puisque cela implique une station *de broyage préalable* que nous avons représentée en M, N, P, Q, au-dessus des silos à houille. (Voir appointements sud.)

Revenons au four à coke, le wagonnet amenant la houille broyée se vide vers le bas par un simple déclanchement.

En résumé : « *Le coke est, en principe, produit par la distillation de la houille qui est elle-même chauffée par les gaz qu'elle dégage* ».

Nous savons tous en effet que la houille distillée donne du gaz d'éclairage, qui est lui-même un combustible journellement employé dans l'économie ménagère.

Si donc ce gaz est recueilli et passe par une série de canaux placés dans les parois latérales et sous la sole du four, on conçoit que ce gaz se trouvant en présence de l'air brûlera et échauffera les parois et la partie inférieure d'une cavité où le coke arrivera à se produire par distillation en vase clos.

Au bout de 24 heures nous supposons que cette distillation sera terminée.

Il faudra alors faire sortir du four le *saumon de coke*.

C'est là une chose qui n'est pas du tout aisée en raison de la haute température régnante et de la vitesse à laquelle on doit procéder, si l'on ne veut pas avoir un déchet trop important de fabrication.

En effet, vous ne perdez pas de vue, cher lecteur, que du coke porté au rouge et qui n'est plus en vase clos, ne demande qu'à brûler dès qu'il se trouve en présence de l'air.

Alors si le défournement ne se fait pas d'une façon très rapide pour pouvoir « éteindre le saumon de coke » par aspersion d'eau, on risque d'avoir une partie de ce combustible transformé en *cendres*, ce qui ne fait pas du tout l'affaire.

Fig. 20 bis. — Coupe d'un élément de four à coke à récupérateurs avec la défourneuse à vapeur et le silo d'emmagasinement à vapeur et le silo d'emmagasinement

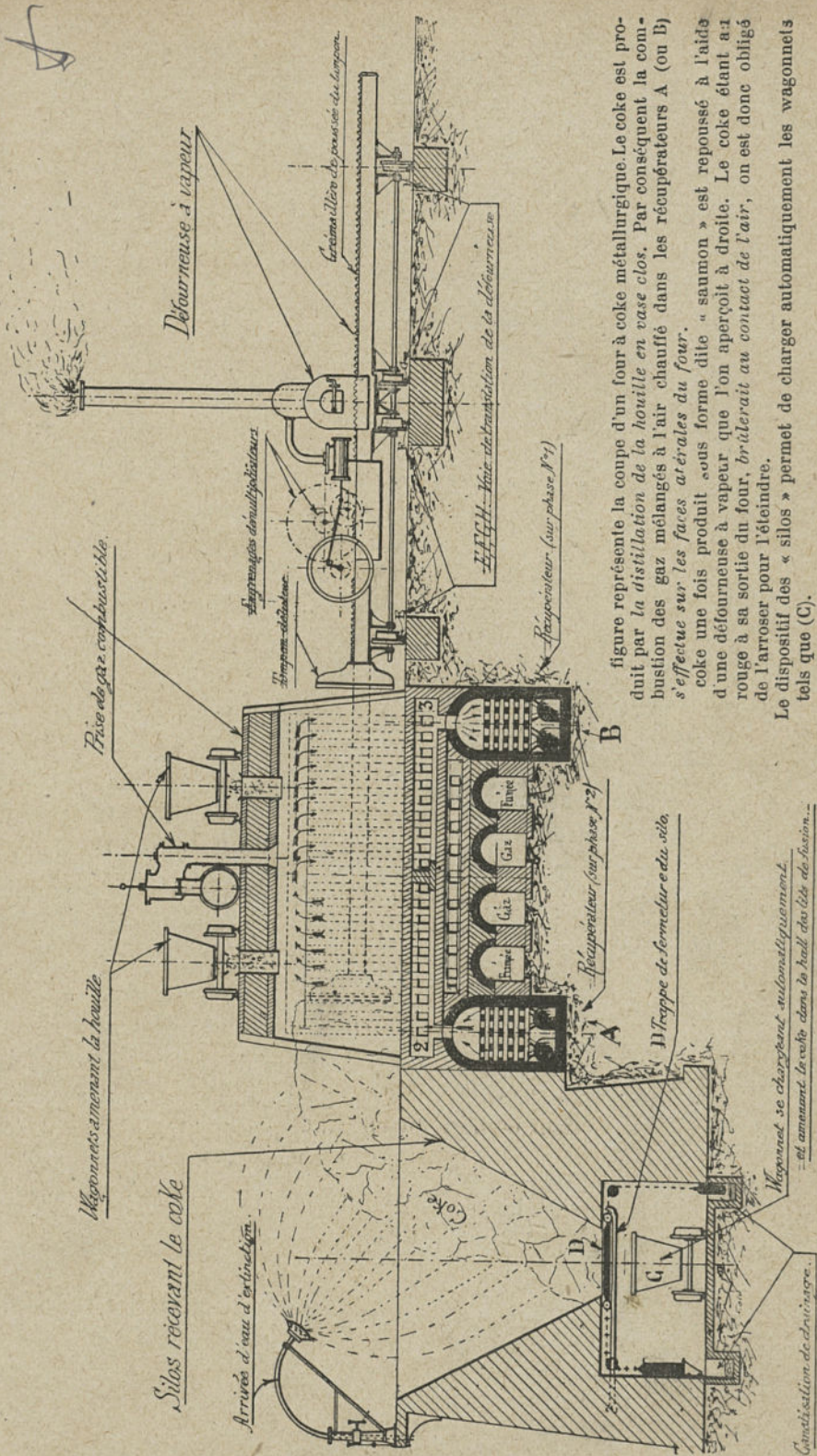


figure représente la coupe d'un four à coke métallurgique. Le coke est produit par la distillation de la houille en vase clos. Par conséquent la combustion des gaz mélangés à l'air chauffé dans les récupérateurs A (ou B) s'effectue sur les faces arrières du four. Le coke une fois produit sous forme dite « saumon » est repoussé à l'aide d'une défourneuse à vapeur que l'on aperçoit à droite. Le coke étant au rouge à sa sortie du four, brûlerait au contact de l'air, on est donc obligé de l'arroser pour l'éteindre.

Le dispositif des « silos » permet de charger automatiquement les wagonnets tels que (C).

La difficulté et la rapidité du défournement ont donc créé « *la défourneuse mécanique* » dont nous allons parler.

DÉFOURNEUSE MÉCANIQUE. — Si nous longeons les fours à coke du côté sud de l'usine, nous rencontrons quatre voies sur lesquelles se meut un chariot qui se déplace le long des fours à la demande des défournements à effectuer.

Un tampon dit « déluteur » porté par cet appareil est placé en face de l'ouverture du four où la carbonisation en vase clos est terminée. La houille s'est transformée en coke. Il faut chasser le saumon du four justement au moyen de ce plateau qui viendra s'appliquer sur le coke.

Il avancera lentement poussé par une crémaillère mue par des engrenages.

Un cylindre à vapeur avec piston, bielle et manivelle mettra le train d'engrenages en route et par suite la crémaillère et le plateau. Le saumon de coke poussé peu à peu sortira du four où il sera éteint par aspersion d'eau.

Ce coke une fois éteint tombera dans des silos spéciaux s'ouvrant vers le bas.

Des wagonnets passant au-dessous des silos seront chargés automatiquement par l'ouverture d'une simple trappe.

De là les wagonnets descendront par un léger plan incliné, jusqu'à la salle des mélanges, pour être ensuite amenés aux hauts-fourneaux par le moyen des monte-charges.

4° Visite rapide de la batterie des chaudières à vapeur. — Nous supposerons que l'aciérie possède des batteries de chaudières représentant un total de 55 de ces appareils générateurs de vapeur.

Les batteries étant à proximité des hauts-fourneaux sont agencées d'une façon mixte, c'est-à-dire qu'elles peuvent soit brûler des gaz des hauts fourneaux, soit marcher à la houille.

Le but de ces chaudières est de fournir de la vapeur pour tous les usages exigés par la fabrication.

Nous citerons dans cet ordre d'idées :

1° La propulsion des *machines à vapeur* actionnant les *machines soufflantes*.

2° La propulsion des *machines à vapeur*, conduisant les *machines hydrauliques*, qui permettent la marche de tous les appareils hydrauliques annexés auxquels nous donnerons le nom de « *servo-moteurs* » (manœuvre hydraulique des obturateurs de gueulards, manœuvre hydraulique des monte-charges, manœuvre hydraulique des déchargeurs de wagonnets).

3° La propulsion des machines à vapeur de la *Centrale Électrique* chargée également de produire l'électricité pour tous les moteurs électriques de l'usine, notamment ceux des « *transporteurs électriques* » desservant les silos à minerai, à coke, etc., etc.

5° Visite des salles des machines soufflantes. — Nous avons à visiter deux installations de machines soufflantes.

1° Les machines qui desservent les hauts-fourneaux.

2° Les machines qui desservent les convertisseurs Bessemer.

Les machines soufflantes desservant les hauts-fourneaux donnent une pression d'air de 15 centimètres de mercure.

Cette pression n'a d'ailleurs rien de tout à fait absolu, elle est plus forte dans certaines usines que dans d'autres suivant la résistance que présente le haut-fourneau au passage de l'air.

On peut dire d'une façon générale que pour le coke dur les pressions utilisées varient de 12 à 20 centimètres de mercure.

Nous donnons dans la figure n° 7 la coupe d'un cylindre à air et nous montrons un dispositif « *en tandem* ».

Ce dispositif en « *tandem* » consiste à avoir la machine à vapeur dans le même axe longitudinal que la machine soufflante.

La tige du piston à air étant dans le prolongement de la tige du piston à vapeur.

Le lecteur remarquera d'une part, la grandeur du diamètre du cylindre à air qui est de 1^m,500, ainsi que la lenteur de marche de ces machines soufflantes qui ne font guère que 41 tours à la minute.

Il suffira de lire la légende qui est sous le schéma de la machine, pour comprendre sa marche qui est fort simple.

Les machines soufflantes qui fournissent l'air nécessaire aux convertisseurs Bessemer, sont en principe du même système que les précé-

dentes. Nous portons simplement l'attention sur ce que la pression d'air nécessaire pour les convertisseurs Bessemer est de 1 atmosphère et demi au moins.

Dans certaines souffleries Bessemer, elle atteint à la sortie des machines jusqu'à 155 centimètres de mercure et nous connaissons des aciéries Thomas qui emploient des pressions doubles de celle-là !

Considérons un convertisseur Bessemer de modèle moyen et supposons-le vertical et chargé de fonte chaude. Il ne faut pas perdre de vue, que la couche de fonte en fusion atteint 60 centimètres de hauteur dans ce convertisseur, il faut donc que la pression de l'air soit supérieure à cette pression pour pouvoir passer à travers la fonte.

Si la densité de cette dernière est de 7,5 environ, il nous est facile de calculer le poids de cette dernière rapporté au centimètre carré.

Un centimètre cube de fonte pèse 7,5 gr. et 60 centimètres cubes de fonte pèsent 450 grammes. Le centimètre cube de mercure pèse 13,6 gr. Donc la pression d'air équivalente à la colonne de fonte est donc, en centimètres de mercure, de :

$$\frac{450}{13,6} = 33 \text{ centimètres.}$$

Comme au-dessus de la fonte règne au moins la pression atmosphérique qui est représentée par 760 millimètres de mercure ou 76 centimètres, on voit que la pression de l'air qui devra traverser le bain de fonte du Bessemer devra être *plus grande que* : $76^{\text{cm}} + 33^{\text{cm}} = 109^{\text{cm}}$. En tenant compte de l'éloignement des machines soufflantes et des convertisseurs Bessemer, on conçoit très bien qu'à la sortie des machines la pression d'air nécessaire puisse atteindre jusqu'à 155 centimètres de mercure.

Les Ingénieurs en calculant leur pression ne font que tenir compte des *pertes de charge* qui se produisent inévitablement entre les machines soufflantes et leur point d'utilisation.

La pression de 155 centimètres de mercure que nous avons indiquée n'a rien, à notre avis, qui puisse paraître exagéré.

D'ailleurs pour les convertisseurs plus puissants elle peut atteindre le double !

6° Un coup d'œil général sur la fonderie de première et deuxième fusion. — Comme le lecteur sait, on désigne sous le nom général de fonderie de première fusion, la partie de l'usine où se trouvent les hauts-fourneaux.

En sortant du *hall des lits de fusion*, se trouve d'abord la batterie des monte-charges nécessaires au service des hauts-fourneaux.

C'est par les monte-charges en question [E_1, E_2, E_3], que l'on montera les wagonnets qui portent les charges de minerai, de coke métallurgique et de fondant.

Ces monte-charges sont reliés par des passerelles à des plateformes entourant respectivement le gueulard des hauts-fourneaux.

Les passerelles sont supportées d'une façon sensiblement indépendante des appareils sur lesquels elles ne donnent ni surcharges, ni poussées par dilatation.

Ce dispositif est d'ailleurs discutable car des Ingénieurs pourront dire que le haut-fourneau constitue un support suffisamment important pour y placer la passerelle.

C'est en effet une opinion. Nous nous plaçons cependant à un autre point de vue.

Les colonnes (que l'on aperçoit en coupe) ont l'avantage d'abord de diminuer la portée des passerelles et ensuite de permettre toutes réparations aux appareils sans qu'on ait à s'inquiéter de les supporter.

A côté des hauts-fourneaux, on aperçoit les batteries de récupérateurs à gaz ou appareils à chauffer le vent.

($R_1, R_2, R_3, \dots, \text{etc. } R_{17}, R_{18}$).

Des voies de chemin de fer au nord et au sud de la fonderie de première fusion, servent à l'enlèvement du laitier avec lequel l'usine fabrique du ciment.

Ces voies sont d'ailleurs raccordées à la ligne de la Compagnie des chemins desservant la région qui passe à proximité de l'usine et à droite du plan général.

Le peu de place disponible ne nous a pas permis de figurer ce raccordement que le lecteur rétablira par la pensée.

En sortant de l'emplacement réservé aux hauts-fourneaux nous entrons dans le *hall de fonderie de deuxième fusion*.

La fonte de première fusion subit (comme nous le savons par le commencement de notre étude), une purification qui est due à la deuxième fusion.

Elle est effectuée dans 6 cubilots que l'on aperçoit en $J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, J_6$ en plan.

Dans la coupe générale de l'usine dessinée à la partie supérieure de cet ensemble, on distingue deux de ces cubilots J'_1 et J'_3 représentés en élévation.

Une batterie de quatre monte-charges dessert les cubilots.

Cette fonte de deuxième fusion sert à alimenter les convertisseurs Bessemer.

7. Visite au hall du Bessemerage. — En quittant la fonderie de deuxième fusion nous arrivons dans *le hall du bessemerage*.

Nous y apercevons, placés sur une plateforme M_1, M_2 , trois convertisseurs N_1, N_2, N_3 , qui sont desservis par les monte-charges O_1 et O^2 .

Des grues de coulée P_1, P_2, P_3, P_4 , recueilleront l'acier et le déverseront dans des lingotières.

Des grues de démoulage $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6, Q_7$, dont on aperçoit les rayons d'action serviront à *démouler les lingots* qui seront ensuite *martelés* ou *laminés*.

8° Un coup d'œil dans les salles des machines à vapeur et hydrauliques. — 1° Il y a dans l'usine de nombreuses machines à vapeur, notamment celles qui font marcher les machines électriques des stations centrales *lumière et force*.

2° Nous citerons aussi pour mémoire, les machines à vapeur conduisant les laminoirs, les marteaux-pilons et les machines soufflantes.

3° Enfin les machines à vapeur conduisant les machines hydrauliques.

A ce sujet : dans le bâtiment *S* se trouvent des compresseurs hydrauliques, sortes de pompes à vapeur, envoyant l'eau sous pression dans des accumulateurs hydrauliques.

Cette eau sera ensuite utilisée pour toutes les manutentions pour lesquelles elle est prévue comme moyen de transmission de force.

a) Nous rappellerons à ce sujet : la manœuvre hydraulique des palans qui sont utiles pour faire le déchargement des wagonnets au gueulard des hauts-fourneaux.

b) Pour opérer hydrauliquement, l'ouverture et la fermeture du gueulard au moment où l'on alimente les hauts-fourneaux, en minerai, coke ou fondant.

c) Pour la manœuvre des monte-charges (hauts-fourneaux, cubilots, convertisseurs).

d) Pour la manœuvre des grues de coulée et de démoulage du hall des convertisseurs.

e) Pour toutes autres manœuvres hydrauliques, dans le détail desquelles nous ne pouvons entrer dans cette description, qui n'est donnée qu'à un point de vue tout à fait général.

9° Visite au hall de laminage et des marteaux-pilons. — Nous passons ensuite dans le hall du laminage et des marteaux-pilons.

Nous avons donné des notions suffisantes pour comprendre comment marchent ces appareils.

Ils peuvent différer par des dispositions diverses ainsi que par leurs dimensions.

Il suffit pour nous que le lecteur en connaisse le principe pour ne point y revenir.

Nous allons compléter les notions déjà apprises en signalant l'existence des « fours à réchauffer », que l'on aperçoit en plan sur la figure n° 20 (hall de laminage) (voir à droite).

Le but de ces appareils est de porter les lingots d'acier à une température telle, que le laminage (ou le martelage) puisse s'effectuer dans de bonnes conditions.

1° On conçoit, en effet, qu'à la sortie des lingotières, le métal ne soit pas à la température nécessaire pour en continuer le travail.

2° Ensuite rien ne prouve et *il n'est pas rationnel de penser* qu'il y ait un *synchronisme parfait* entre le débit des convertisseurs et l'utilisation immédiate des lingots d'acier.

En résumé, nous dirons qu'il vaut mieux laisser à l'atelier des convertisseurs Bessemer *sa propre autonomie*, en lui permettant de faire

un certain stock de lingots qui seront ensuite utilisés dans l'atelier suivant.

Le fait de la non utilisation immédiate du métal sortant des convertisseurs, entraîne celui du réchauffage des lingots.

Il est encore juste de dire que les métallurgistes ont cherché à conserver le plus longtemps possible la haute température de l'acier qui vient d'être coulé, en le plaçant *dans des cellules en briques réfractaires.*

Les cellules en question conservent les calories et économisent le combustible pour le réchauffage complémentaire qu'il y aura ensuite à effectuer, afin d'arriver à se placer dans les conditions voulues de température de martelage ou de laminage.

Parmi les systèmes de fours à réchauffer (tels que U_1, U_2, \dots) se trouvent les fours Bicheroux, qui sont bien connus des métallurgistes.

10° Enumération des services généraux et annexes. — Dans une pareille installation, très importante comme le lecteur se l'imaginera aisément, il existe des services annexes développés :

1° D'abord des *ateliers de réparation* pour les machines et les appareils.

2° *Des laboratoires d'essais* pour les aciers fabriqués (*Essais mécaniques : traction, dureté, etc.*).

3° *Des laboratoires chimiques*, aussi bien pour l'analyse des minerais, du coke et de la fonte, c'est-à-dire pour le service des hauts-fourneaux que pour le service de l'aciérie Bessemer proprement dite. (*Analyse des aciers.*)

4° Une pareille usine comprend l'*utilisation des résidus* : c'est-à-dire la fabrication des briques et du ciment de laitier de haut-fourneaux.

5° Enfin en plus de l'installation des bureaux comprenant l'*administration* et la *comptabilité*, existe souvent des *habitations ouvrières* complétées par des *organisations coopératives* (alimentation, habillement, etc.).

CHAPITRE XIV

ÉTUDE DU PROCÉDÉ DE FABRICATION DE L'ACIER THOMAS ET GILCHRIST

Ce procédé plus généralement connu sous le nom de procédé Thomas ou de procédé au Convertisseur à *sole basique* a pour caractéristique bien nette de permettre le *traitement des fontes phosphoreuses*, alors que cela est impossible dans le procédé Bessemer.

Nous allons donner quelques explications complémentaires.

Quand on examine les graphiques de *fabrication de l'Acier Bessemer*, (1) on arrive à cette conclusion extrêmement intéressante que si les proportions de carbone, de manganèse et de silicium diminuent d'une façon considérable au fur et à mesure que le temps de l'opération augmente, il n'en est pas du tout de même pour le *Soufre* et le *Phosphore*.

Le *Soufre* et le *Phosphore* se conservent en principe.

Le premier souci que doit avoir le métallurgiste qui traite des fontes aux convertisseurs Bessemer est donc de se procurer des fontes aussi pures que possible *au point de vue Soufre et Phosphore*.

Le lecteur fera bien attention à ce que nous ne parlons pas de fontes pures dans toute l'acception du mot, *car la base du traitement Bessemer est surtout la réaction exothermique donnée par la combustion du Silicium*.

(1) Ces graphiques de fabrication sont obtenus en se servant de deux axes rectangulaires. *Sur l'axe des ordonnées* : on porte le pourcentage des corps étrangers alliés à la fonte initiale au différents instants de la fabrication, *sur l'axe des abscisses* on porte les durées correspondantes. On obtient des courbes différentes pour chaque corps. Une courbe pour le silicium, une pour le phosphore, etc.

Les fontes de Bessemerage contiennent donc une certaine proportion de *Silicium* sans parler du *Manganèse*.....

Elles ne sont donc pas pures dans toute l'acception du mot, mais nous le répétons, les métallurgistes ont intérêt à traiter au Bessemer des fontes contenant le moins de Soufre et le moins de Phosphore possible.

Voyons donc ce qui se produit dans le Bessemer dont la *sole acide* est en quelque sorte une caractéristique.

Quand le Phosphore s'oxyde par le passage de l'air à travers le convertisseur, il donne de l'acide phosphorique dont la formule chimique est P^2O^5 .

Si cet acide phosphorique *pouvait se transformer en phosphate, de manganèse* par exemple, tout irait bien, car ce nouveau corps irait rejoindre la scorie et le phosphore serait du coup éliminé de la masse du métal. L'acier en serait donc débarrassé.

Malheureusement, *la silice plus énergique que l'acide phosphorique empêche ce dernier de s'incorporer à la scorie* et le phosphore se trouve de ce fait rejeté dans la masse de métal d'où il repasse dans l'acier.

L'acier au *phosphore* ne pouvant être employé industriellement, car il est cassant, fait rejeter complètement l'emploi des fontes phosphoreuses pour le traitement au Bessemer en raison de la *sole acide* du convertisseur.

Le procédé Thomas et Gilchrist a comme principe la neutralisation de la silice par des quantités suffisantes d'une base convenablement choisie.

Comme bases utilisées on peut d'abord citer la chaux.

On fait ici ce que les chimistes appellent d'une façon générale: *la neutralisation d'un acide par une base*.

« *On occupe la silice d'un côté pour éviter qu'elle soit nuisible d'un autre.* »

Quand la silice est neutralisée, l'excès de chaux que l'on devra utiliser encore donnera du *Phosphate de chaux*, résidu qui pourra être vendu ensuite pour l'agriculture (1).

Cette manière de procéder débarrasse donc du phosphore, l'acier que la fabrication Thomas a pour but d'obtenir.

(1) Ce phosphate de chaux qui constitue un excellent engrais est vendu à très bon compte à l'agriculture puisqu'en somme ce n'est qu'un *sous-produit* de la fabrication principale dont il vient dégréver d'autant le prix de revient.

Périodes de fabrication dans le procédé Thomas

Nous rencontrons dans le traitement au convertisseur basique les périodes suivantes de fabrication :

- a) *Le chargement.*
- b) *La période de production des scories (scorification).*
- c) *La période où le carbone s'en va (décarburation).*
- d) *La période où le phosphore passe dans la scorie (c'est la déphosphoration, période fort importante comme le lecteur pourra en juger d'après ce que nous avons dit sur l'action néfaste de ce corps étranger).*
- e et f) *Les deux périodes suivantes consistent dans le raffinage et la recarburation.*
- g) *La dernière période est comme dans le Bessemer : la coulée du métal.*

Étude des différentes périodes précédemment exposées

1° **Préparation du convertisseur Thomas.** — Nous sommes d'abord obligé de renseigner le lecteur sur un corps important au sujet du garnissage intérieur d'un convertisseur Thomas.

Nous voulons parler de la « *dolomie* ». La *dolomie* est un dérivé du *magnésium*.

Nos lecteurs connaissent tout au moins de nom ce métal qui, en brûlant, donne une si belle clarté, qu'il permet d'effectuer la nuit des photographies comme en plein jour.

Quand on considère la combinaison du magnésium avec l'oxygène, on obtient un corps universellement connu, tout au moins par ses applications pharmaceutiques, et qui s'appelle la *magnésie*. Cette magnésie se présente sous forme d'une poudre blanche.

La *dolomie* ne doit cependant pas être confondue avec la *magnésie* (comme nous l'avons souvent entendu faire par inattention), elle constitue un *carbonate double de calcium et de magnésium*, que le lecteur entendra appeler quelquefois *carbonate double de chaux et de magnésie*.

Le *carbonate de calcium* est un corps très usuel, c'est lui qui *constitue la craie* dont on se sert pour écrire au tableau noir.

Le *carbonate de magnésium* est connu par les minéralogistes sous le nom de « *giobertite* ».

On peut donc dire que la « *craie* », unie à la « *giobertite* », constitue la fameuse dolomie, dont il est si souvent parlé dans l'étude du procédé Thomas.

Cette digression nous a paru nécessaire pour bien fixer les idées du lecteur et ne point lui apprendre des mots quelquefois nouveaux pour lui, sans bien en préciser la signification.

Garniture du convertisseur Thomas. — On commence d'abord par faire une garniture de base qui est constituée par des briques réfractaires. Ces briques sont ensuite enduites d'une épaisseur formant *revêtement* intérieur, auquel les gens de métier donnent le nom de *pisé*.

Dans le convertisseur Thomas on fait, en général, un *pisé dolomitique* (1) auquel on a donné le nom de *sole*. La *sole basique* aussi bien que la *sole acide d'un convertisseur* constitue le *revêtement intérieur complet*.

Le fond du convertisseur où sont ménagées les *tuyères* ou tuyauterie d'air, est également constitué par un *pisé dolomitique* dans l'appareil Thomas.

2° Le chargement. — Il faut d'abord commencer par utiliser des fontes qui ne soient pas trop chargées en silice, car si ce corps était avantageux dans le procédé Bessemer en raison des calories données par le silicium, il n'en est plus de même ici. Il sera facile d'ailleurs de le comprendre plus loin, quand on aura jugé que le « *générateur des calories* » du procédé Thomas *n'est plus le silicium* et que ce corps devient nuisible.

Une fois que le convertisseur {Thomas est prêt on commence par le charger avec de la *chaux vive et du coke* et on envoie le vent sous pression.

(1) Dans les aciéries Thomas il existe de véritables installations (*ateliers dolomitiques*) où l'on prépare les matériaux nécessaires au garnissage basique des convertisseurs. On y prépare notamment les « fonds » que traversent les tuyères.

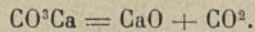
On procède alors au chargement de la fonte liquide.

Le lecteur verra avec plaisir que nous lui donnions quelques renseignements complémentaires, sur la façon dont on obtient la chaux-vive qui joue un si grand rôle dans le convertisseur Thomas.

Nous rappelons que l'on obtient la chaux vive, industriellement en décomposant par la chaleur le *carbonate de calcium* ou *craie*, dont nous avons parlé à propos de la *dolomie*.

Pour cette opération on se sert soit de fours intermittents (fabrication peu régulière), soit de fours continus (fabrication utilisée dans les aciéries).

En chauffant la *craie* on obtient le départ de l'acide carbonique d'après la réaction suivante qui se produit dans le four à chaux :



Le CO^2Ca n'est autre que le carbonate de chaux ou craie, CaO représente la formule chimique de la chaux vive et CO^2 n'est autre que l'acide carbonique, qui est déjà pour nos lecteurs une vieille connaissance.

Nous donnons, d'autre part, le schéma d'un four à chaux industriellement employé. C'est un *four continu*, la chaleur est donnée par un foyer latéral F et au fur et à mesure que la chaux vive est produite on la retire par le bas. (*Voir figure 21*).

On aperçoit vers le haut une plateforme de chargement où arrive la craie ou pierre à chaux.

Une sorte de gueulard G, permet de charger dans le four la pierre à calciner.

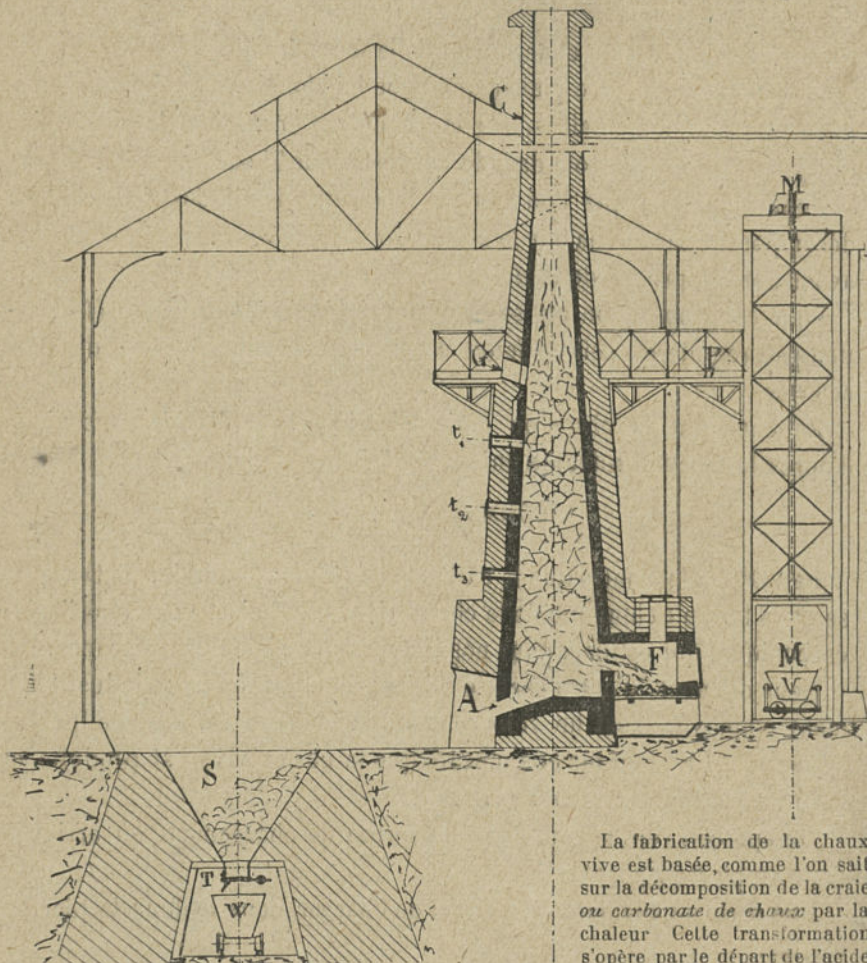
Une cheminée C laisse dégager les gaz résiduels de l'opération et notamment l'acide carbonique et la vapeur de l'eau, dont la matière première pouvait être imprégnée.

Ces fours continus, dont la forme rappelle beaucoup celle d'un petit haut-fourneau, ont une dizaine de mètres de hauteur, cheminée non comprise.

On retire la chaux vive par le bas, c'est-à-dire au point que nous avons désigné par A.

Des wagonnets peuvent être adjoints au service du four à chaux, afin de faciliter le transport de cette dernière jusqu'au convertisseur Thomas.

Fig. 21. — Coupe d'un four permettant de produire la chaux vive destinée à la fabrication de l'acier au convertisseur basique.



La fabrication de la chaux vive est basée, comme l'on sait sur la décomposition de la craie ou carbonate de chaux par la chaleur. Cette transformation s'opère par le départ de l'acide

carbonique contenu dans la craie.

La craie arrive d'une carrière supposée à proximité de l'aciérie Thomas par des wagonnets V (voir à droite et en bas du dessin). La voie de ces wagonnets a été établie en pente pour profiter de la pesanteur et réduire la main-d'œuvre de transport à minima.

Les wagonnets analogues à U sont montés par le monte-charge M, M jusqu'à la plateforme P où s'effectuera le chargement de la craie dans le four par le moyen de plusieurs ouvertures telles que G.

Le four à chaux est chauffé par un foyer F. La chaux vive est tirée en A. On a prévu un système de silos S permettant le chargement automatique de la chaux par la simple ouverture d'une trappe T dans les wagonnets tels que W.

On a en effet, intérêt non seulement à réduire les frais de main-d'œuvre à minima, mais encore à procéder très vite pour éviter l'hydratation de la chaux vive. Cette dernière très avide d'eau se transformerait en chaux éteinte et deviendrait inutilisable pour le convertisseur.

Le wagonnet W suit après chargement une voie en pente, qui l'amène avec le minimum de frais jusqu'à la salle des convertisseurs où il sera pris par un monte-charge et amené à un étage placé à une hauteur convenable pour rendre facile le chargement en chaux vive du convertisseur Thomas.

Nous rappelons que l'on a intérêt à employer très peu après sa fabrication, la chaux vive obtenue, et c'est pour ainsi dire *dès sa sortie du four de calcination qu'elle est chargée* dans le convertisseur. Cela est assez facile à comprendre, la chaux vive a le grave inconvénient de s'altérer relativement vite, *elle s'hydrate*, comme disent les chimistes, c'est-à-dire qu'elle absorbe la vapeur d'eau de l'atmosphère, *elle est très avide d'eau*. La chaux hydratée ne tarde pas à son tour à donner du carbonate de calcium par fixation de l'acide carbonique contenu dans l'air.

EN RÉSUMÉ : Le lecteur retiendra que la *chaux vive aussitôt produite* est placée dans le convertisseur avec une charge de coke, puis l'homme préposé aux manœuvres lance l'air comprimé provenant des machines soufflantes.

L'air porte rapidement au rouge le coke et la chaux-vive, qui sont d'ailleurs dans un appareil chauffé au préalable.

On fait alors basculer le convertisseur et on y fait couler la fonte chaude.

L'opération du chargement est terminée.

3° Période de production des scories. — Afin de permettre au lecteur de comparer ce que nous avons dit pour le Bessemer acide avec ce que nous allons exposer pour la fabrication au convertisseur Thomas, nous pouvons dès maintenant porter son attention sur ce *que la période de scorification est très courte dans ce dernier procédé*, par rapport à ce *qu'elle était dans le Bessemer acide*. Le lecteur comprendra très bien qu'il ne peut en être autrement, en effet, les fontes que l'on emploie dans le traitement basique sont très peu chargées en *silicium* qui est l'agent primordial de la *scorification* dans le Bessemer acide.

On arrive donc ici très vite à la période suivante.

4° Période de décarburation. — Le carbone s'en va ensuite, il passe sous l'influence de l'air insufflé à l'état d'acide carbonique puis se transforme en grande partie en oxyde de carbone qui brûle au bec du convertisseur. La fonte se transforme donc et tend à devenir du fer par disparition du carbone.

5° Période importante dite de « déphosphoration ». — Pendant que le carbone diminuait dans la période précédente, le phosphore diminuait aussi. Au bout d'environ un quart d'heure à compter depuis le commencement de l'opération, on peut se dire que le phosphore est passé dans la scorie à l'état de *phosphate de chaux et de fer*.

Puis la scorie devenant trop encombrante, on est obligé de la couler avant de passer à la période de raffinage et de recarburation.

Nous dirons une chose que le lecteur ne doit pas oublier, c'est que les fontes exigent d'autant plus de chaux que la proportion de silicium qu'elles possèdent est plus grande.

Comme la scorie est gênante et fort encombrante, on n'a pas d'intérêt à avoir des fontes chargées en silicium.

Le phosphore se charge par sa combustion de fournir dans le procédé Thomas les calories que le silicium fournissait dans le procédé Bessemer.

Donc, quand nous avons parlé de la nature des fontes à employer dans le procédé Thomas, nous étions dans les conditions requises en recommandant l'emploi d'une matière première *très peu chargée en silicium*.

6° Période de raffinage et de recarburation. — Pour des motifs analogues à ceux que nous avons donnés au moment de l'étude du Bessemer acide, on procède dans la fabrication basique au convertisseur Thomas à une *recarburation après raffinage*.

On utilise soit le « ferro-manganèse », soit le « spiegel-eisen » ou « fonte miroitante » afin de produire soit un *acier doux*, soit un *acier dur*. [C'est, nous le rappelons, le *ferro-manganèse* qui par son addition finale donne l'acier le *moins chargé en carbone*, c'est-à-dire l'acier doux, tandis que le *spiegel-eisen* donne l'acier dur.]

Nos lecteurs devront se reporter à ce que nous avons dit à propos du raffinage et de la recarburation dans le Bessemer acide.

Il y a analogie complète avec le procédé Thomas, en ce qui concerne cette phase.

7° Période de coulée. — La coulée de l'acier dans le procédé Thomas s'effectue également comme dans le procédé Bessemer.

On verse le métal contenu dans le convertisseur dans une poche que porte une grue spéciale, appelée « *grue de coulée* ». (Voir figure 18, page 89).

Dès que la poche est chargée la grue pivote et la poche dite « *à quenouille* » se vide par dessous, pour ne pas entraîner la scorie qui surnage.

Une autre grue, dite « *grue à lingots* », permettra d'enlever ces derniers de la fosse de coulée et de plus facilitera l'*opération du démoulage* qui consiste à séparer le lingot d'acier de la carcasse ou « *lingotière* » qui a servi à lui donner sa forme actuelle.

Les lingots seront ensuite travaillés au laminoir ou au marteau-pilon suivant les formes ultérieures à obtenir. Dans la majeure partie des cas il faudra *réchauffer le lingot* avant le laminage.

D'où la nécessité de batterie de fours à réchauffer que l'on aperçoit dans les hall de laminage.

Parmi ces fours à réchauffer se trouvent les « *Fours Bicheroux* », très connus des métallurgistes. Tel est le procédé de fabrication de l'acier en partant des fontes phosphoreuses par le procédé au convertisseur à sole basique.

En terminant ce chapitre nous devons mentionner *que les célèbres minerais du bassin de Briey ne sont devenus utilisables pour la fabrication de l'acier qu'au moment où l'on a trouvé le procédé Thomas et Gilchrist.*

Les fontes qui proviennent du traitement des minerais de Briey *sont en effet des fontes phosphoreuses* et le lecteur sait, d'après l'exposé que nous venons de faire, que, *seul le procédé basique* permet de traiter ce métal pour en tirer de l'acier.

CHAPITRE XV

LE PETIT BESSEMERAGE

Nos lecteurs ont pu juger d'après les descriptions données jusqu'ici (et, notamment par la visite récapitulative) qu'une Aciérie Bessemer, constitue une installation fort importante.

Elle nécessite pour être viable une grande production d'acier.

Si cette condition n'existait pas on ne pourrait arriver à lutter victorieusement par les prix de revient, contre d'autres fabrications qui, à égalité de prix de vente, donneraient un produit plus pur.

Cependant, il est arrivé que des Industriels (pour lesquels la qualité des Aciers Bessemer était très suffisante), désiraient fabriquer eux-mêmes ce métal en petites quantités et à pied-d'œuvre cela sans avoir des installations aussi importantes et aussi onéreuses que celles nécessitées par les Aciéries déjà décrites.

C'est à ce desideratum que répond le petit affinage qui ne nécessite guère qu'un convertisseur de faible encombrement comme ceux dont nous allons parler.

En résumé :

« Le petit bessemerage consiste donc à produire à la fois avec le minimum de frais de premier Etablissement, de marche normale et d'amortissement, de faibles quantités d'acier dans des convertisseurs dérivés des appareils Bessemer ».

(Quand nous disons : de faibles quantités d'acier, nous parlons d'une tonne, car nous nous plaçons ici comparativement aux productions Bessemer et Thomas qui atteignent 15 tonnes par coulée et quelquefois plus).

Convertisseur Robert

Le convertisseur Robert qui est très répandu dans l'Industrie Métallurgique, permet de traiter 1 000 kilogrammes de fonte en une vingtaine de minutes.

Sa forme générale rappelle celle de la cornue Bessemer cependant la disposition de l'arrivée d'air est très caractéristique.

Les tuyères au lieu d'être placées en bas et suivant des axes verticaux sont disposées sur le côté et suivant des axes horizontaux (l'axe XY étant supposé vertical).

Tous les axes des tuyères tout en étant horizontaux ont une obliquité uniforme (par rapport au plan vertical du dessin) qui est telle que les jets d'air tendent à faire tourner le métal en fusion ou mieux à l'animer d'un mouvement de giration.

Il se produit un brassage qui amène automatiquement les différentes parties de la masse du métal en face des jets d'air comprimé.

Le contact successif des différentes parties de la fonte à décarburer est donc assuré par le mouvement continu du bain, à la condition de lui donner une certaine inclinaison.

En inclinant le convertisseur Robert comme nous l'indiquons on se trouve dans la position de marche.

On voit que les tuyères soufflent presque au niveau du bain et nécessitent naturellement une pression de soufflage bien moindre que dans le travail du Bessemerage proprement dit.

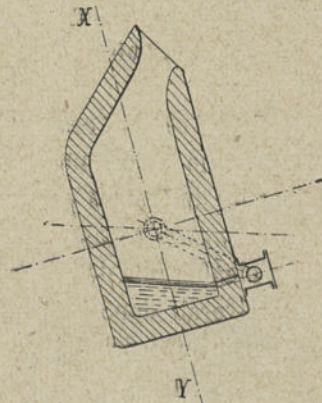


Fig. 21 bis. — Coupe d'un convertisseur Robert servant au petit Bessemerage.

Ce convertisseur est de petites dimensions. Il rappelle la forme générale de l'appareil Bessemer, cependant, le soufflage se fait sur le côté au lieu d'être fait par dessous.

On y traite environ une tonne de fonte, à la fois.

La disposition oblique des tuyères permet au métal en fusion d'avoir un mouvement de giration ce qui facilite le travail.

(L'obliquité des tuyères ne peut être vue sur le dessin car elle existe perpendiculairement au plan du tableau).

Un convertisseur Robert ne demande guère qu'une pression de 20 à 25 centimètres de mercure, alors que nous avons vu (et justifié par un petit calcul) qu'il était nécessaire d'avoir plus de 150 centimètres de pression au Bessemer en raison de la hauteur du métal que le jet d'air doit traverser.

Nous avons dit que la position de travail du convertisseur Robert était inclinée.

Cette façon d'opérer qui permet de régler exactement la charge de métal au-dessus des tuyères (charge très faible, c'est entendu) possède à notre avis, un autre avantage au point de vue du *brassage intime* du métal.

En effet, *si ce petit convertisseur restait vertical*, les jets d'air amèneraient bien un mouvement de giration de la masse du métal, mais ce seraient les différentes parties avoisinant la zone superficielle qui, *toujours les mêmes* repasseraient devant les tuyères et bénéficieraient de l'action bienfaisante de décarburation.

On arriverait donc à décarburer parfaitement une partie du bain de fonte (partie superficielle) au détriment d'une autre (partie avoisinant le fond du convertisseur).

En poussant les choses à l'extrême on peut même dire que l'on aura des tendances à produire *du fer oxydé* dans la zone superficielle, alors que le restant du bain de fonte sera à peine décarburé.

En inclinant l'appareil on renouvelle constamment la zone superficielle par le soufflage.

Il suffit, en effet de se donner la peine de réfléchir quelques secondes pour bien comprendre :

1° *Qu'en raison de la position inclinée du convertisseur* pendant le travail, les jets des tuyères envoient à chaque instant *vers le fond de l'appareil*, les molécules de métal de la zone superficielle ;

2° *Qu'en raison du mouvement de giration du bain de métal* toutes les molécules de la partie superficielle passent successivement dans la zone d'action décarburente créée par les jets d'air comprimé.

Telle est, à notre avis, la meilleure explication que l'on puisse donner de ce brassage intime qui, certainement favorise *la faible durée de l'opération au Convertisseur Robert.*

[Le lecteur se rappellera au point de vue comparatif les renseignements que nous lui avons donnés :

L'opération est de *20 minutes*, environ avec le *convertisseur Robert*, de *45 minutes* environ avec les *convertisseurs Bessemer* ou *Thomas* et enfin de *8 à 12 heures* avec le *four Martin*.

Les aciers fabriqués « *au creuset* » (que nous étudierons plus tard) demandent approximativement de *4 à 5 heures* de traitement].

Nous ne terminerons pas le chapitre du « *Petit Bessemerage* » sans parler du convertisseur anglais *Clapp* et *Griffiths* il est classique mais assez peu répandu en France, quoique relativement ancien.

Alors que le convertisseur *Robert* *était oscillant* le *Griffiths* *est fixe*. Il est donc bien caractéristique.

Le chargement est effectué *par le bec* et la coulée a lieu à la partie *inférieure*.

La boîte à vent, de forme annulaire, constitue une sorte de collecteur ; elle est placée au-dessous du bec. Une série de canalisations verticales partent de ce collecteur pour aller alimenter des chambres de prise d'air que l'on peut obturer par des vannes munies de presse-étoupe spéciaux.

L'étanchéité de ces presse-étoupe est assurée par une dérivation de l'air comprimé lui-même qui agit sur les deux faces du même presse-étoupe avec une différence de pression moindre que celle existante entre celle de l'air comprimé et celle de l'air atmosphérique.

CHAPITRE XVI

PROCÉDÉ SIEMENS-MARTIN POUR LA FABRICATION DE L'ACIER

Avant-Propos

Le procédé que nous allons décrire donne de l'acier de bonne qualité. La durée de la fabrication est suffisante pour pouvoir faire pendant qu'elle est en cours des prélèvements d'échantillons (appelés *éprouvettes* en terme de métallurgie).

Ces éprouvettes servent de « témoins » et après avoir été soumises à des essais appropriés, elles permettront de corriger le métal en cours d'élaboration afin que l'acier obtenu finalement soit d'une qualité bien déterminée.

Nous pouvons dire sans exagération, car il s'agit d'une loi *industriellement intangible*, que si des considérations de prix de revient *devaient seules intervenir*, les aciéries Martin seraient appelées à disparaître devant les aciéries Bessemer qui donnent un produit moins coûteux.

Les raisons qui militent en faveur du procédé Martin *sont les qualités des produits obtenus nécessaires à des emplois déterminés.*

Les fabrications d'acier dit « *au creuset* » (1) sont également dans le même cas que l'acier Martin et malgré leur coût elles n'en servent pas moins chaque jour à l'obtention d'*aciers spéciaux.*

Le four Martin est, si l'on peut s'exprimer ainsi, un *appareil très obéissant.* On pourrait dire qu'il est au convertisseur Bessemer un peu

(1) Nous étudierons plus loin la fabrication des aciers dits : « *au creuset* » fabrication à laquelle nous avons consacré un chapitre spécial.

ce que le « *cubilot* » (qui sert à fabriquer la fonte de 2^e fusion) est au haut-fourneau (qui sert à fabriquer la fonte de 1^{re} fusion).

Nous émettons cette comparaison *bien que les motifs ne soient pas les mêmes* dans l'un et l'autre cas.

Nous avons cité les aciers fabriqués « au creuset », comme une des méthodes utilisées pour l'obtention d'aciers spéciaux.

Nous devons dire pour être exact que le procédé Martin donne aussi toute la gamme des aciers précités : notamment, ceux qui sont utilisés pour la *construction automobile*, pour l'*aviation*, pour l'*artillerie* et la *marine*.

Par exemple, nous pourrions citer parmi ces aciers renommés :

Les « *aciers au chrome* ». Le chrome a la propriété de donner de la *dureté* à l'acier dans lequel il est incorporé.

Les personnes familiarisées avec l'Étude de la Technique automobile se rappelleront l'utilisation des aciers chromés pour les roulements à billes comme nous l'avons déjà fait remarquer. *C'est le chrome qui permet la grande dureté des billes et la grande dureté de leurs chemins de roulement*. Sans cette dureté il est bien évident que les roulements et les butées seraient *pratiquement* inutilisables. La sphéricité des billes serait illusoire, il se formerait ce que les ouvriers appellent des « *méplats* » après très peu d'usage.

Les « *aciers au nickel* », sont également des aciers spéciaux très connus pouvant s'obtenir au four Martin.

Il existe toute une gamme d'aciers au nickel comme on le verra plus loin.

Il faut retenir que la teneur en nickel varie de 1,5 à 25 % et que de plus une des propriétés remarquables du nickel est de donner à l'acier une grande résistance à la traction et un grand allongement.

Les « *aciers spéciaux au silicium* » sont utilisés avec fruit pour la fabrication des ressorts, le silicium donnant de l'*élasticité*.

Nous verrons en parlant de la description du procédé Martin que ces aciers sont obtenus au moyen de l'« *addition finale* » où l'on incorpore du « *ferro-silicium* » dans le bain de métal traité.

Nous citerons encore les aciers *au manganèse* renommés pour leur dureté très grande et aussi parce qu'ils sont très peu fragiles.

On peut les obtenir au four Martin par ce que l'on appelle *l'addition finale au ferro-manganèse*.

Nous citerons encore les aciers au *nickel-chrome*, les aciers *manganosiliceux*, les aciers au *titane*, au *vanadium* au *molybdène* et au *tungstène*.

Nous avons été amené à énumérer, sans entrer dans trop de détails, ces métaux bien connus, *pour intéresser par avance* le lecteur sur les procédés de fabrication que nous allons étudier.

Il en saisira dès maintenant, l'importance pratique, cela en raison *du développement énorme* que l'industrie métallurgique des aciers spéciaux a pris depuis quelques années.

A côté de l'Industrie métallurgique proprement dite on peut aussi placer l'*Électro-Métallurgie* qui donne au *four-électrique* un certain nombre d'*alliages* tels que les *ferro-manganèses*, par exemple, et beaucoup d'autres qui servent à faire les additions finales.

Le *four électrique* prépare en un mot des *alliages dosés* qui permettront de faire au *four Martin* des aciers spéciaux (1) de composition voulue.

Influence de la nature de la sole des fours Martin. — Il est intéressant de parler dans les généralités de la *nature de la sole* de ces appareils.

La sole des fours Martin qui est tout simplement le fond de la cuvette A. B. C. D. E. F. (voir figure n° 22) peut être :

- 1° Soit formée avec des *matériaux acides* (à base de silice) ;
- 2° Soit formée avec des *matériaux neutres* ;
- 3° Soit formée avec des *matériaux basiques* (la base utilisée est soit la *dolomie*, soit la *magnésie*).

Quelques détails complémentaires là-dessus :

- a) *Les soles acides.* — Sur les « *soles acides* » s'obtiennent les aciers-

(1) A la demande de quelques Ingénieurs, (demande dont nous avons été très honoré), nous avons à la fin de ce livre traité la question des *aciers spéciaux*, toujours d'ailleurs, dans le but d'en vulgariser l'étude. Nous sommes donc restés dans les *lignes générales* qui peuvent être facilement retenues par le lecteur, sans entrer dans le détail des *traitements thermiques* qui auraient pu nous faire sortir du cadre de cet ouvrage.

extra, comme par exemple ceux qui servent pour la Marine (plaques de blindage) et pour l'artillerie (aciers à canon).

b) *Les soles neutres.* — Sur les « soles neutres » on obtient des aciers doux de très bonne qualité. Ce sont des *aciers soudants* qui ont des propriétés mécaniques voisines du fer.

c) *Les soles basiques.* — Ces dernières sont utilisées pour le traitement de fontes phosphoreuses.

Comme nous le verrons, il ne s'agit que de fontes peu phosphoreuses afin de ne point faire un traitement trop onéreux.

Méthodes diverses permettant d'obtenir de l'acier au four Martin.

— On connaît trois moyens de traiter la fonte dans un four Martin afin d'obtenir de l'acier.

1° Le procédé aux riblons (« Scrap process »).

2° Le procédé au minerai (« Ore process »).

3° Le procédé mixte (« Landore process »).

Le deuxième procédé [dit « au minerai »] n'est plus guère employé, nous verrons d'ailleurs pourquoi cette méthode n'est pas pratique.

Généralités et description d'un four Martin. — Avant d'entrer dans plus de détails sur les méthodes diverses permettant d'obtenir de l'acier Martin, nous croyons utile de familiariser le lecteur avec la description de l'appareil qui, à notre avis, est un des facteurs principaux de cette fabrication.

1° Il est constitué par un four qui chauffe le métal par reverbération, d'où le nom de « four à reverbère » employé couramment en métallurgie.

Ce four à reverbère comprend une cuvette où la fonte en fusion sera traitée et subira un « affinage par réaction ».

Voir la coupe du four Martin (figure n° 22).

2° Afin de produire la chaleur nécessaire, on y brûle des gaz combustibles surtout constitués par l'oxyde de carbone (CO) et l'hydrogène (H).

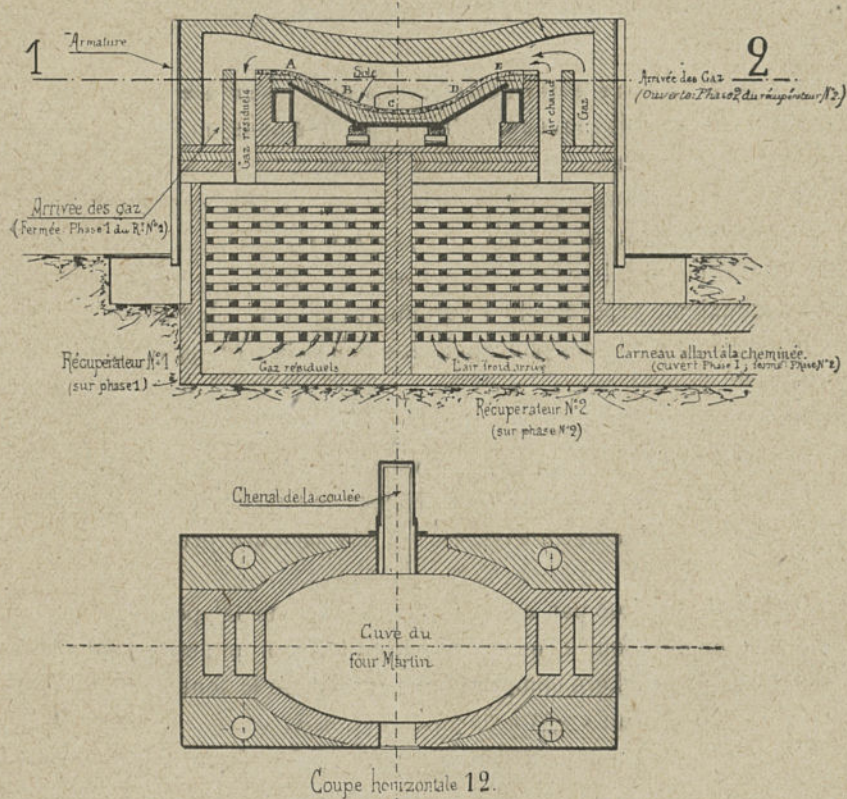
L'appareil générateur s'appelle « le gazogène » (voir figure n° 23).

3° Les gaz fabriqués dans le gazogène sont mis dans le four en contact avec de l'air chauffé, cet air se mélange à l'oxyde de carbone et à l'hydrogène produits et en permet la combustion.

L'air envoyé est porté à haute température, à l'aide d'une batterie de récupérateurs en matériaux réfractaires.

Cette batterie est placée, en général, sous le four Martin proprement dit et elle reçoit les chaleurs perdues provenant de la combustion des gaz dans le four.

Fig. 22. — Coupe du four Martin et des récupérateurs.



Par analogie, avec ce qui se fait dans les hauts-fourneaux, on envoie d'abord les gaz résiduels dans une batterie de récupérateurs, puis à l'aide d'appareils inverseurs on les remplace par de l'air, tandis que les gaz sont envoyés dans d'autres récupérateurs et ainsi de suite.

Quand, après le traitement de la fonte (qui s'opère par *réaction*, comme nous l'avons dit), on coule l'acier, ce dernier est reçu dans une poche qui permet de le couler ensuite dans des lingotières.

Nous nous proposons de revenir plus loin sur toutes ses généralités.

Les lignes générales étant données au lecteur, nous allons pouvoir parler des divers procédés de fabrication de l'acier Martin.

Nous récapitulerons le tout, en faisant ensuite une visite, dans une usine où nous verrons tous les appareils groupés, cela par analogie avec ce que nous avons fait pour l'aciérie Bessemer.

A. — Etude du Procédé Martin aux riblons

On peut diviser l'opération en cinq phases que nous allons étudier méthodiquement, ces périodes sont en quelque sorte classiques et bien connues.

Nous nous proposons de les exposer de la façon la plus simple possible, pour les personnes non initiées à la métallurgie.

Voici, nous rencontrerons dans l'ordre suivant les différentes périodes à envisager :

- 1° Le changement ;
- 2° La fusion ;
- 3° Les additions successives ;
- 4° L'addition finale (raffinage et recarburation).
- 5° La coulée.

(Nous portons l'attention du lecteur sur ce que nous lui avons déjà parlé dans l'avant-propos de « l'addition finale », en raison du rôle que remplit cette phase du procédé Martin, au moment de la fabrication des aciers spéciaux).

1° Le chargement. — L'appareil dans lequel on effectue le chargement est, comme nous l'avons exposé, un four à reverbère.

On commence d'abord à mettre ce four dans des *conditions voulues de température*, en faisant un feu de bois qui dessèche les maçonneries et leur revêtement réfractaire, puis les porte au rouge blanc.

Ensuite la fonte est cassée en morceaux, ce qui facilite la fusion.

(Les gueuses de fonte ainsi sectionnées ont reçu le nom de « *gueusets* », nous aurons encore à utiliser ce terme).

Il y a au moment du chargement une perte de temps assez considérable car l'ouverture (ou les ouvertures de chargement) ne sont pas très grandes.

On a d'ailleurs intérêt à faire des portes peu nombreuses et de petites dimensions pour faciliter la bonne obturation du four pendant le travail.

Le chargement peut durer près de deux heures, c'est pour cela d'ailleurs que des métallurgistes pensant avoir une meilleure utilisation des fours Martin, ont pensé à un moment donné remplacer les gueusets par de la fonte déjà en fusion.

Si nous admettons que la sole du four utilisé est une sole acide, *les fontes employées ne pourront être phosphoreuses*, car elles donneraient de l'acier de mauvaise qualité (1).

Une autre chose qui doit être signalée sur la nature des fontes traitées au four Martin c'est qu'elles ne peuvent être siliciées (C'est exactement le contraire de ce qui se passe dans la fabrication de l'acier Bessemer où l'emploi des fontes *contenant du silicium est une nécessité*, car l'oxydation de ce produit dégageant une grande quantité de chaleur permet de maintenir la haute température du bain).

Tandis que : 1° Dans le procédé Martin une *source extérieure* donne les calories nécessaires à la fabrication.

2° Le bain de fonte n'étant pas soufflé ne permet pas le départ du silicium.

Nous insistons sur cette différence, car elle est en quelque sorte typique.

Le procédé Bessemer exige une production de *calories internes*, puisque la chaleur ne lui est pas fournie extérieurement. Le silicium est ce combustible interne, ensuite son départ dans la scorie surnageant, le bain est, en quelque sorte, la conséquence du soufflage interne.

(1) Voir ce qui a été dit au sujet des fontes phosphoreuses dans la fabrication de l'Acier au convertisseur Thomas.

On peut donc noter que les fontes utilisées au four Martin ne seront pas siliciées ; par contre, *elles seront manganésées*.

Le *manganèse a la propriété de rendre la scorie très fusible* [comme nous admettons que nous décrivons le traitement sur sole acide], il se formera un silicate de manganèse, *très fusible* et, par conséquent, facilement séparable du reste du bain de métal par différence de densité.

2° La fusion. — Grâce à la chaleur initiale du four Martin et au chauffage consécutif au chargement, le bain de fonte entre en fusion.

Mais pour que le chauffage se fasse avec le moins de perte possible, il faut s'assurer que les ouvertures sont hermétiquement fermées à la fin du chargement.

On a procédé à ce moment à l'opération du « *lutage* » des ouvertures au moyen de la « *terre à four* ».

3° Les additions successives. — Jusqu'ici nous n'avons pas parlé de la *transformation du bain de fonte en acier* par réaction.

En effet, c'est à partir de cette phase que la décarburation va se produire du fait des additions successives de « *riblons* » (1).

[On désigne sous le nom général de « *riblons* » en terme industriel, de la ferraille qui n'est bonne qu'à la refonte].

Les riblons utilisés dans le four Martin, sont préalablement réchauffés et se dissolvent dans la masse du bain de fonte en fusion, comme un morceau de sucre se dissoudrait dans un verre d'eau.

Il se produit, pour cette opération, une diminution progressive du pourcentage de carbone, *qui était dans le bain initial* puisque la ferraille ainsi rajoutée contient, en ce qui la concerne, relativement *peu de ce métalloïde et qu'elle est oxydée*.

Donc au fur et à mesure que l'on augmente « *par additions successives* », le poids des riblons, le bain de fonte se transforme en un bain d'acier par réaction des éléments en présence.

Tel est, d'ailleurs, le mécanisme général de la fabrication dans un four Martin.

(1) D'où le nom de « *Procédé Martin aux riblons* ».

Tout ce que nous pourrions dire ensuite constituera un traitement améliorant la qualité du produit obtenu ou lui permettant d'avoir des propriétés déterminées.

4° L'addition finale. — Quand on a fait les additions successives, on procède à un prélèvement d'éprouvettes pour juger à quel point se trouve la fabrication.

L'échantillon prélevé est forgé et on lui fait subir des essais.

(Essais de traction, essais de pliage, examen de la cassure, etc., etc.).

Il se peut, et à notre avis il est bon d'envisager cela comme normal, qu'il y ait un peu de métal oxydé dans le bain. On doit le faire disparaître.

De plus il se peut que la proportion du carbone final restant dans le bain, ne soit pas celle voulue pour l'obtention d'un acier déterminé.

Il est d'ailleurs presque évident, que si l'on tombait après les additions successives sur la proportion exacte de carbone désirée, cela ne serait que le fait du hasard, car les riblons sont constitués par de la ferraille absolument quelconque.

Si les riblons étaient d'une qualité mathématiquement homogène, on pourrait *peut-être* penser à arriver très près du résultat voulu, mais nous ne saurions être trop affirmatif à ce sujet, car il entre bien d'autres facteurs dans un four Martin.

Pour nous résumer nous devons en principe :

- 1° Faire disparaître le métal oxydé.
- 2° Amener le carbone à une proportion déterminée.

PROCÉDÉ N° I

On ajoutera alors dans le bain, soit du « *spiegel-eisen* », soit du ferromanganèse.

[Nous rappelons, au lecteur, que le « *spiegel-eisen* » constitue ce que les métallurgistes appellent également la *fonte manganésée*.]

Cette fonte manganésée permet de remplir à la fois les deux buts proposés par son manganèse d'une part et son carbone d'autre part.

En effet : 1° Le *manganèse* a la propriété de s'allier à l'oxygène

du métal oxydé. Il se produit la réduction de l'oxyde de fer nuisible et par conséquent la disparition de l'oxygène qu'il fallait éliminer.

Le manganèse a donc un rôle très précieux d'épurateur du bain de métal.

2° Le carbone contenu dans le *spiegel-eisen* amène le bain d'acier au degré final de carburation voulue.

Nota. — On emploie le procédé N° 1, quand on veut obtenir des aciers relativement très carburés.

PROCÉDÉ N° II

On peut encore faire l'addition finale à l'aide du *ferro-manganèse*, ce produit :

1° Par son manganèse purifiera le bain de métal et supprimera l'oxyde de fer.

2° Par son fer (contenant très peu de carbone), permettra d'avoir finalement un bain d'acier moins chargé en carbone que par le procédé N° 1 (Addition de Spiegel).

Nota. — On emploie le procédé N° II quand on veut obtenir des aciers relativement peu carburés.

5° La coulée. — Pour l'opération de la coulée, on envoie le métal sortant du four Martin (par une sorte de « goulotte » ou chenal en tôle garnie de produits réfractaires), dans une poche de coulée portée sur un wagonnet.

L'acier se mélange dans cette poche, qui ensuite sera amenée à l'endroit où s'opère la coulée en lingots.

Les lingotières ont la forme représentée sur le croquis.

Elles possèdent deux oreilles (a) et (b), qui permettent leur manutention facile à l'aide de chaînes tirées par des grues appropriées.

La forme intérieure des lingotières est telle que le démoulage du lingot obtenu soit facile.

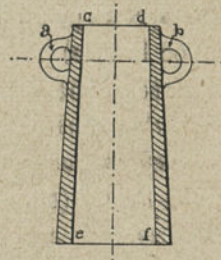


Fig. 22 bis. — Coupe d'une lingotière pour couler l'acier.

Elles possèdent ce que l'on appelle, en terme de métier, de la dépouille, c'est-à-dire que la partie *ef* placée en bas est de plus grandes dimensions que la partie *cd* placée vers le haut.

La méthode de coulée dite de « *coulée en source* » dont nous allons parler nous paraît excellente.

Elle consiste à avoir une lingotière centrale appelée « *lingotière-mère* », d'où le métal part à l'aide de canaux appropriés pour aller remplir d'autres lingotières placées tout autour.

La poche d'acier Martin est donc déversée dans la lingotière-mère.

En principe : *on rejette toujours l'acier de la lingotière-mère*, car ce métal est impur ; il reçoit les « *fonds de poches* » qui, naturellement, peuvent contenir un peu de scories et ne sauraient constituer un lingot parfaitement sain.

On n'emploie que le métal des lingots périphériques.

Les lingots démoulés sont ensuite travaillés aux marteaux-pilons ou aux laminoirs, afin d'arriver à donner à l'acier la forme finale et marchande qu'il devra avoir.

B. — Etude du procédé de fabrication de l'acier Martin avec le minerai et la fonte (Ore process)

(Ce procédé est décrit à titre purement documentaire, nous estimons, en effet, qu'il est très intéressant d'étudier cette fabrication non seulement pour connaître les motifs qui l'ont fait abandonner mais encore parce qu'elle sert un peu d'introduction à la suivante qui est très utilisée, notamment en France).

Le mécanisme de cette fabrication était le suivant :

« *Si l'on considère que la fonte est un carbure de fer beaucoup plus chargé en carbone que l'acier et si l'on mélange de la fonte avec de l'oxyde de fer (ou minerai) l'oxygène du minerai donne une combinaison avec le carbone (1) de la fonte et l'on peut avec un dosage approprié (suivi d'un dosage rectificatif) arriver à produire de l'acier.* »

(1) Cette combinaison qui est gazeuse (CO^2 et CO) s'échappe du bain de métal qui de ce fait s'appauvrit en carbone et s'enrichit en fer.

Ce procédé est *relativement coûteux* au point de vue du *combustible*, car il faut chauffer beaucoup.

Il se forme, en effet, une quantité importante de scories qui surnagent le bain et il est bien évident que pour arriver à maintenir la chaleur du métal en traitement, il faut passer par l'intermédiaire exigeant représenté par la couche de scories précitée.

4 L'addition finale. — On fait après analyse et essais des éprouvettes, toutes les additions finales nécessaires pour arriver à obtenir une qualité d'acier voulue.

Nos lecteurs sont déjà familiarisés avec cette phase.

5. La coulée. — Cette coulée se fait en poche, sur wagonnets, comme il a été précédemment expliqué.

Ensuite on obtient des lingots. Ces derniers seront, suivant le cas, soit laminés, soit passés au marteau-pilon.

Traitement des fontes phosphoreuses au four Martin.

Le procédé dont nous allons donner les grandes lignes est l'homologue du procédé Thomas.

Il s'agit du four Martin à sole basique.

Avant-Propos.

Il ne faut pas croire, comme on serait tenté de le penser, qu'il s'agit ici de traiter des fontes *très phosphoreuses*. Ce procédé serait trop coûteux. Il n'y faut pas songer.

Le four Martin devra posséder une *sole basique* afin de permettre le passage du phosphore dans la scorie.

☛ Ce procédé comprend les phases principales suivantes :

Phase n° 1. — Le chargement.

» » 2. — La fusion.

» » 3. — L'affinage par additions successives.

» » 4. — La déphosphoration.

» » 5. — L'addition finale.

» » 6. — La coulée.

Etudions donc les phases successives du procédé en retenant ce qui pourra nous paraître intéressant.

1. Le chargement. — Nous signalerons d'abord que la sole du four peut être établie en briques de *dolomie*. (Corps avec lequel nous sommes déjà familiarisés au moment de l'étude de la fabrication de l'acier par le procédé Thomas et Gilchrist).

On la termine en pilonnant des couches successives de dolomie pulvérisée qui viennent constituer la cuve proprement dite du four Martin basique.

Afin de protéger la sole qui se détériorerait très vite, on y place souvent une couche de calcaire avant de commencer le chargement proprement dit. *Cette protection de la sole est en quelque sorte une condition essentielle.* Le four est porté au rouge blanc et le *coup de feu* permet d'obtenir le *glacage de la partie de la cuve qui sera en contact avec le bain de métal.*

Ensuite par la porte de chargement on met la fonte soit sous forme de petites gueuses ou gueusets, soit sous forme liquide.

On compte qu'un four Martin permet de traiter en même temps *de 3 à 15 tonnes de fonte*; ces chiffres montrent au lecteur que ces appareils de fabrication se construisent de différentes grandeurs tout comme les convertisseurs Bessemer d'ailleurs.

Une fois le chargement effectué on ferme les portes et on les bouche par ce que l'on appelle le « lutage » avec lequel le lecteur est déjà familiarisé.

On compte que le chargement dure environ deux heures dans le cas où il est effectué avec les gueusets. Telle est la période de chargement.

2. La fusion. — Cette fusion s'effectue par suite de la haute température régnante. Naturellement quand on traite des gueusets cette opération dure relativement longtemps par rapport à celle où la fonte est amenée en poche.

Donc, pour cette période, rien de bien intéressant à signaler, passons à la suivante.

Si ce procédé n'est plus guère employé c'est à cause de l'action corrosive du minerai qui détruit les matériaux du four avec lesquels il est en contact et très rapidement.

Cette destruction est très gênante ; nous verrons, dans le procédé suivant, quelles précautions on prend pour obvier à l'action corrosive du minerai.

**C. — Etude du procédé de fabrication de l'acier Martin
en partant de la fonte additionnée de riblons et de minerai
(Procédé mixte ou « Landore process »)**

Ce procédé qui est appelé en France « *procédé au minerai* » est plutôt un moyen mixte puisqu'il y a addition de riblons et de minerai en même temps.

Voici les différentes phases de cette fabrication, elles sont les mêmes nominativement que dans le « scrap process » que nous avons précédemment étudié :

- Phase N° 1. — Le chargement.
- » » 2. — La fusion.
- » » 3. — Les additions successives.
- » » 4. — L'addition finale.
- » » 5. — La coulée.

1. Le chargement. — Dans cette fabrication et pour les raisons que le lecteur devine, on est obligé de soigner tout particulièrement la construction de la sole ou cuvette du four Martin.

En effet, comme nous l'avons déjà exposé, *toute fabrication en présence de l'oxyde de fer ou minerai est un travail très destructeur.*

On est donc obligé, en faisant la sole du four de protéger la dite par une couche pilonnée, très épaisse, de matériaux réfractaires.

Cette précaution permet alors au four de servir relativement longtemps.

On charge alors la fonte à traiter en morceaux ou gueusets en quantité importante sur la sole du four qu'un chauffage préalable a porté au rouge blanc.

2. La fusion. — La fonte entre en fusion sous l'influence de la haute température qui est obtenue en brûlant au-dessus de la cuvette du four des gaz combustibles.

Ces gaz proviennent d'une batterie de gazogènes chargés de produire un mélange d'oxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H).

L'air nécessaire à la combustion vient d'appareils récupérateurs où il est porté à une température élevée, rendant les conditions de marche tout à fait favorables. (Voir la coupe du four Martin où l'on aperçoit les batteries de récupérateurs : figure 22).

Jusqu'ici nous n'avons obtenu qu'un bain de fonte en fusion.

Comme le but poursuivi est de produire de l'acier, il faut additionner le bain obtenu de riblons et de minerai.

C'est ce que nous allons étudier dans la phase suivante.

3. Les additions successives. — Afin d'éviter la destruction rapide du four dont nous avons déjà parlé : *on fait des briquettes de fonte en fusion et de minerai* que l'on charge ensuite.

Le minerai, très oxydant, très corrosif, va se trouver en quelque sorte *enrobé dans une gaine protectrice qui protégera la sole.*

Le lecteur comprendra le mécanisme de cet artifice en réfléchissant à *l'action immédiate du minerai sur le métal carburé* avec lequel il est en contact.

Il est bien évident que le minerai enrobé dans la fonte portera toute son action oxydante sur cette dernière et non sur la sole qui est ainsi préservée du contact direct et corrosif de l'oxyde de fer à haute température.

Cet artifice employé dans les additions successives du *Landore process* permet donc à la cuvette du four une durée plus grande que dans le procédé *au minerai seul* précédemment exposé.

Il est également bon de dire que tout ce qui est rajouté en riblons rend à notre avis, le milieu moins destructeur que dans l'*Ore process*.

On intercale des additions de riblons avec des additions de briquettes (minerai-fonte) et l'on continue à travailler jusqu'à ce que l'oxygène du minerai ait fait son œuvre de décarburation.

CHAPITRE XVII

RÉCAPITULATION GÉNÉRALE CONCERNANT L'ACIERIE MARTIN

Visite d'une usine métallurgique. — (Suivre figure N° 23). Comme récapitulation des dernières études que nous venons de faire nous voyons, à notre avis, une bonne manière de procéder.

Elle va consister tout simplement, à visiter une usine métallurgique, afin d'y étudier d'une façon générale le fonctionnement d'une aciérie Martin. La visite que nous pouvons faire ne sera naturellement *que mentale*, comme le lecteur le comprendra.

Aussi avons-nous dessiné à son intention une vue d'ensemble de ce qui va l'intéresser.

Cette vue d'ensemble remplacera les appareils réels et donnera une grande facilité, pour voir saisir, le fonctionnement général et aussi pour retenir des choses déjà apprises qui s'éclaireront d'un jour nouveau.

Avant tout, procédons avec méthode et commençons à l'origine.

Un four Martin ne fonctionne que s'il est chauffé par une source extérieure....., il n'a pas cela de commun avec un convertisseur Bessemer pour lequel comme nous le savons les calories internes (à la masse du métal traité) demeurent suffisantes.

Il va falloir, par conséquent, commencer par visiter les appareils produisant les calories nécessaires à la marche du four.

Les gazogènes.

Les « gazogènes » sont, nous le rappelons, *les générateurs du mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène constituant les gaz combustibles qui, brûlés dans le four Martin, arriveront à réchauffer la masse du métal en traitement.*

3. L'affinage par additions successives de minerai ou de riblons. — On fera des additions successives comme nous l'avons déjà exposé pour le procédé Martin acide. Les riblons permettent de faire diminuer la teneur en carbone de la fonte et par conséquent d'arriver à obtenir de l'acier par des additions successives appropriées. En un mot : Le carbone contenu dans la fonte initiale, se répartit dans tout le bain en fusion qui comprend non seulement la fonte servant de point de départ mais encore les riblons qui eux peuvent être considérés comme ne contenant pas de carbone relativement à la teneur de la fonte.

4. La déphosphoration. — Jusquici nous avons à très peu de chose près, répété des notions que nous connaissions déjà après l'étude du procédé Martin acide, c'est la période de déphosphoration qui va différencier le procédé actuel du précédent.

Il va falloir épurer le bain du phosphore qu'il contient *en rendant la scorie très calcaire*, c'est alors que l'on ajoute de la chaux vive (CaO).

La scorie devient alors très déphosphoreuse.

On procédera alors au décrassage. Cette opération consiste à enlever la scorie qui, plus légère que l'acier surnage le bain, cette scorie entraînant avec elle toutes les impuretés.

5. L'addition finale. — Après avoir fait des prélèvements d'échantillons ou mieux « d'éprouvettes » pour employer le terme exact, après avoir fait tous les essais voulus pour se rendre compte de la nature du métal produit et de son degré de pureté, on procède à l'addition finale.

L'addition finale a, nous le rappelons, le double but :

1° De raffiner le métal qui aura pu s'oxyder.

2° De donner une qualité d'acier voulu.

L'addition finale peut se faire, soit :

1° Avec du « *Spiegel-Eisen* » ou fonte manganésée.

2° Avec du « *ferro-manganèse* ». L'un ou l'autre moyen sera employé de façon à servir de correctif et à amener l'acier à avoir une teneur déterminée en carbone.

3° On pourra également ajouter au bain les métaux appropriés sous

forme d'alliages afin d'arriver à avoir des aciers spéciaux (Artillerie, Marine, Automobile, Aviation, Outillage....., etc.)

6. La coulée. — La coulée proprement dite s'effectue comme précédemment par une sorte de « goulotte » qui est placée devant le four.

Le métal tombe dans une poche portée par un chariot que l'on amène ensuite dans le hall où s'effectuera la coulée dans des lingotières.



gaz combustibles qui joue le rôle de « *collecteur général* » de la batterie.

Les communications. — La flèche N° 3 (dans la coupe) et les flèches N° 4', N° 2', N° 3' et N° 4' (dans la vue par-dessus) indiquent le passage des gaz de la galerie précitée aux canalisations (ou « communications ») I, J, K, L, M.

« **Le siphon à gaz** ». — Ces communications ont été agencées pour former ce que l'on dénomme : « un siphon à gaz ».

Les *gaz chauds tendent à monter* en vertu de leur faible densité dans la branche verticale JK du siphon alors qu'ils tendent à descendre dans la branche verticale LM par augmentation de densité.

(Il y a, en effet, augmentation de poids subie par le fluide gazeux au fur et à mesure qu'il s'éloigne des gazogènes puis qu'il se refroidit de plus en plus.) Il se produit donc vers la gauche, une sorte de tirage automatique que vient augmenter encore le tirage dû à la cheminée desservant l'installation.

Si le lecteur se rappelle le fonctionnement d'un siphon hydraulique quelconque, il comprendra très bien pourquoi l'appareil que nous venons de décrire a reçu le nom de « *siphon à gaz* », l'analogie est parfaite.

Un siphon hydraulique comprend une petite branche et une grande branche. Le poids du liquide contenu dans la grande branche (analogue à LM), entraîne automatiquement l'appel du liquide contenu dans la petite (analogue à JK).

L'ÉPURATION AUTOMATIQUE. — Il est à remarquer une chose très intéressante, nous voulons parler de l'*épuraton automatique* du mélange gazeux combustible.

Cette épuraton, *purement physique d'ailleurs*, s'effectue *du fait de la forme donnée au siphon à gaz*. — Pour pouvoir comprendre cela, on se base sur un principe bien connu : « *C'est que les changements brusques de direction d'une colonne gazeuse en marche, débarrassent le fluide en mouvement des poussières entraînées.* »

Et ce principe n'est, au fond, qu'une conséquence de l'*inertie de la*

matière que les poussières représentent. Alors que les gaz continuent leur chemin en changeant de direction (d'une façon relativement facile), il n'en est pas de même des poussières précitées, qui sont naturellement plus lourdes que les gaz les entraînant.

Ces poussières tendent, en vertu du « *principe de l'inertie* », bien connu des mécaniciens, à *continuer leur chemin en ligne droite* et pendant que les gaz tournent d'un certain angle, elles vont buter contre les parois telles que J', L', etc., et finalement se déposent.

Le résultat pratique de ce qui vient d'être exposé c'est l'épuration physique et automatique du gaz combustible aux angles du siphon à gaz.

Des tampons et portes de visite convenablement disposés près des points où s'accumulent les poussières permettront de les recueillir.

Pour les angles du haut du siphon à gaz, une plateforme (portée par des colonnes et que l'on aperçoit au centre du dessin supérieur) facilitera ce travail.

Pour les angles du bas, une fosse « dite de décrassage » permettra d'extraire les dépôts qui se formeront en J', J'' et M''.

Trajet du gaz combustible.

Le trajet du gaz combustible dans le siphon à gaz est représenté sur le dessin par les flèches :

N^{os} 3, 4, 5, 6, 7 et 8.

A la sortie du siphon à gaz J, K, L, M, le fluide combustible passe dans un clapet représenté en N.

Clapet de réglage des gaz.

(Quantité)

(Voir figure N^o 25).

Le but de ce clapet est de permettre aux personnes ayant la charge de la conduite du four Martin, d'envoyer dans ce dernier la quantité voulue de fluide combustible.

Suivons donc sur la figure 23 pour comprendre la suite.

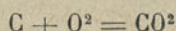
Sur la droite du dessin nous apercevons une batterie de 4 gazogènes indiqués par les numéros : 1, 2, 3, 4.

La partie inférieure de la figure..., précitée nous donne la « *vue en dessus* », c'est-à-dire la « *vue en plan* » de la batterie.

La partie supérieure du dessin nous montre l'intérieur du gazogène N° 3 qui est supposé coupé suivant l'axe XX_1Y_1Y .

En A se trouve le charbon dont la combustion incomplète va donner l'oxyde de carbone.

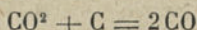
Au voisinage de la grille à gradins B_1 , comme il y a excès d'air il se forme d'abord de l'acide carbonique en vertu de la réaction bien connue :



ce qui peut se traduire par :

Carbone + Oxygène (en quantité suffisante) égale : « *acide carbonique* »

Cet acide carbonique va traverser ensuite la masse du charbon placée au-dessus de la grille, comme il n'y aura que peu d'air par rapport à un excès de carbone, il se produira de l'oxyde de carbone, en vertu de la réaction suivante



nous avons donné à cette réaction le nom de « *réaction des gazogènes* », nous l'avons déjà étudiée dans la théorie des « *gaz montants* » (théorie des hauts-fourneaux).

Donc il est à retenir que cette réaction (*qui est ici primordiale*) donne comme résultat la production de l'oxyde de carbone qui nous est nécessaire.

Ajoutons pour être complet qu'il se produit en même temps de l'hydrogène, autre gaz combustible qui provient de la décomposition de l'eau contenue dans le gazogène sous la grille de ce dernier.

Donc à la sortie du gazogène la vague des gaz combustibles contiendra comme éléments principaux de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone.

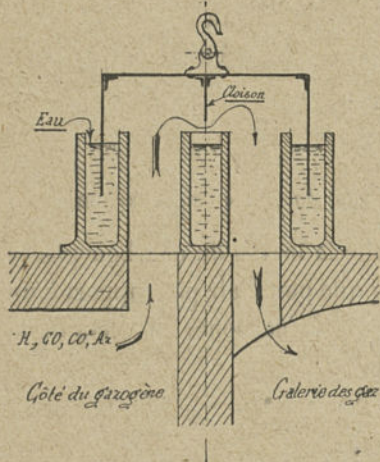
En B l'on aperçoit un foyer dont la grille à gradins subit un soufflage forcé par le moyen d'un appareil spécial appelé « *Souffleur à vapeur* » que l'on voit en S. Afin de faciliter le décrassage de tous les gazogènes,

on a ménagé en C D, une fosse par laquelle s'enlèveront tous les mâchefers et les cendres provenant des foyers. Les gaz produits se dirigent dans le sens des flèches

N° 1', N° 2', N° 3' et N° 4'

En *e*, se trouve une sorte de cloche dont l'intérieur forme écran et dont les lèvres baignent dans un récipient annulaire à sa périphérie.

Fig. 24 — **Prise hydraulique de gaz.**



Cet appareil (dont l'ensemble se trouve en E, au-dessus du gazogène et à cheval sur la galerie dont nous allons parler et sur l'orifice de dégagement des gaz combustibles) constitue en un mot : « une prise de gaz avec joint hydraulique ».

Cette prise de gaz est représentée, sur le dessin N° 23 dans la position fermée, cependant le lecteur comprendra qu'il suffit de soulever la cloche E formant couvercle pour que l'écran central seul sortant de l'eau, livre passage aux gaz combustibles.

Nous donnons d'ailleurs figure 24 une prise hydraulique de gaz dans la position ouverte.

Ces gaz convenablement dirigés et réglés en tant que quantité iront ensuite au four Martin pour y brûler après un mélange dosé avec de l'air dit « de combustion ».

La flèche N° 2 indique l'arrivée des gaz dans une galerie GH à laquelle on a donné le nom de galerie des gaz combustibles.

On aperçoit cette galerie en *a, b, c, d* dans la vue par-dessus et dans la vue en élévation en GH.

Le lecteur remarquera que les fermetures hydrauliques telles que E permettent d'isoler l'un quelconque des gazogènes ou encore donnent le moyen d'alimenter par l'un quelconque d'entre eux cette galerie des

Le mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène en partant de l'inverseur, passe sous le sol dans un carneau puis entre dans le four par la porte P, après avoir monté *derrière les empilages de briques* dans une sorte de cheminée en briques que l'on aperçoit très bien sur la figure 22 (voir en haut et à droite cheminée marquée « Gaz »).

Marche de la colonne d'air de combustion

L'air de combustion est nécessaire pour brûler dans le four Martin, le mélange combustible d'oxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H) produit dans les gazogènes.

Cet air sera réchauffé au préalable dans les récupérateurs de la batterie travaillant sur la phase, que nous avons convenu d'appeler « la phase N° 2 ».

Ce qu'il faut faire au point de vue de l'air « de combustion ».

Il faut :

1° D'abord recueillir l'air.

2° Ne le prendre que dans la proportion voulue, c'est-à-dire compatible avec une bonne combustion.

3° Le diriger vers la batterie qui travaille sur la phase N° 2 pour le réchauffer.

4° Amener l'air de combustion jusqu'au contact des gaz combustibles que nous avons laissés au sortir du carneau P, c'est-à-dire à proximité du bain de métal à traiter.

Procédons donc avec méthode en nous imposant le programme ici tracé.

Appareil mixte de réglage et d'inversion d'air (Voir figures 23 et 26).

1° L'air est recueilli par une ouverture située au-dessus d'un clapet à air qui est représenté en R en élévation et en R' dans la vue par dessus.

2° *Le clapet à air* (qui est conjugué avec un inverseur d'air) permet de faire le réglage de la quantité de « *comburant* » à envoyer au contact du « *combustible* ».

3° *Une sorte de papillon d'inversion permet de diriger l'air froid dans la batterie de récupérateurs qui est sur la phase N° 2 (c'est-à-dire sur la phase de réchauffage de l'air). — Il dirige en même temps, vers la cheminée de l'usine, les gaz résiduels de la combustion qui proviennent de la batterie de récupérateurs travaillant sur la phase N° 1 (c'est-à-dire en cours de réchauffage par les chaleurs perdues.)*

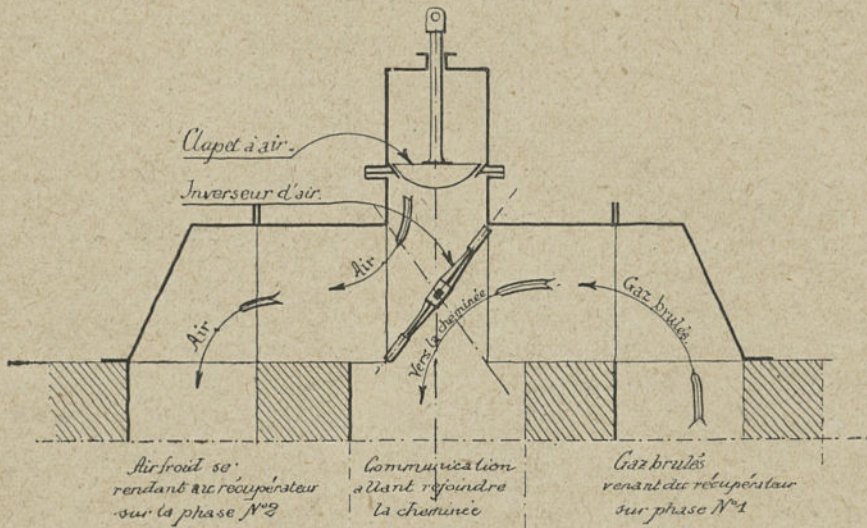


Fig. 26.— Clapet et inverseur d'air pour le chauffage d'un four Martin

4° Pour amener l'air froid depuis l'inverseur jusqu'aux récupérateurs l'air suit la flèche (a) : puis les flèches b_1, b_2, b_3 (fig. 23).

Cet air tout en montant à travers les espaces ménagés dans les « *empi-lages* » de briques réfractaires suit le chemin indiqué par les flèches $C_1, C_2, C_3...$ et va se mélanger aux gaz combustibles avant l'entrée de ces derniers par le carneau P dont nous avons précédemment parlé.

REMARQUE. — L'inverseur des gaz permet également d'envoyer les produits résiduels de la combustion vers la cheminée de l'usine.

Voir figure 23 (vue par dessus). La canalisation d'évacuation des gaz résiduels est indiquée par le mot « *cheminée* »,

Rien ne prouve *à priori*, en effet, que tout le gaz produit par les gazogènes doive être employé en quantité totale.

Il faut donc faire ce que l'on appelle communément « *du réglage* ».

Cela explique au lecteur la désignation :

« Clapet à gaz »
« quantité »

que nous avons placée au-dessous de l'appareil N.

Ce n'est en l'espèce qu'une abréviation de l'expression :

« Clapet à gaz »

« (*Disposé pour le réglage en quantité du fluide combustible*) ».

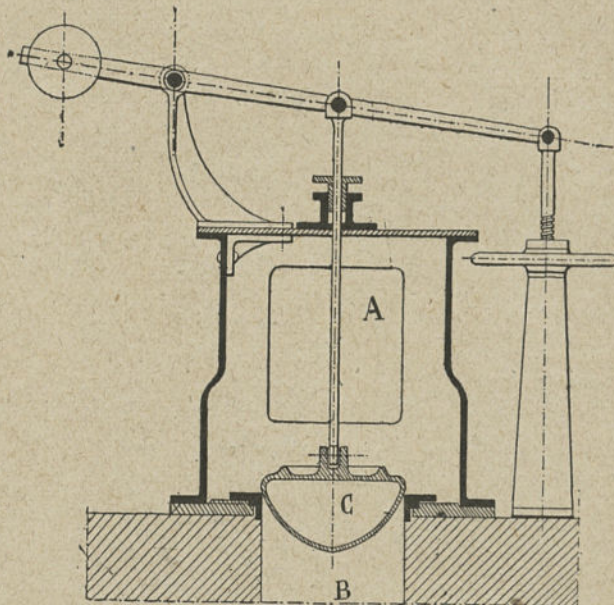


Fig. 25. Clapet de réglage des gaz (*Réglage en quantité*).

Cette figure représente un des appareils annexe d'un four Martin. Les gaz venant des gazogènes arrivent par l'ouverture A. — Le clapet C (souplevable à l'aide d'un dispositif extérieur équilibré) permet de « régler la quantité à admettre » dans l'ouverture B et par suite, dans le four. — Le carneau B amène les gaz jusqu'à l'appareil inverseur (voir figure 25 bis). — L'appareil inverseur fait à son tour, le « réglage en direction », c'est-à-dire qu'il amènera les gaz, par sa position soit sur un côté du four soit sur un autre suivant la batterie des récupérateurs qui fournira l'air chaud de combustion.

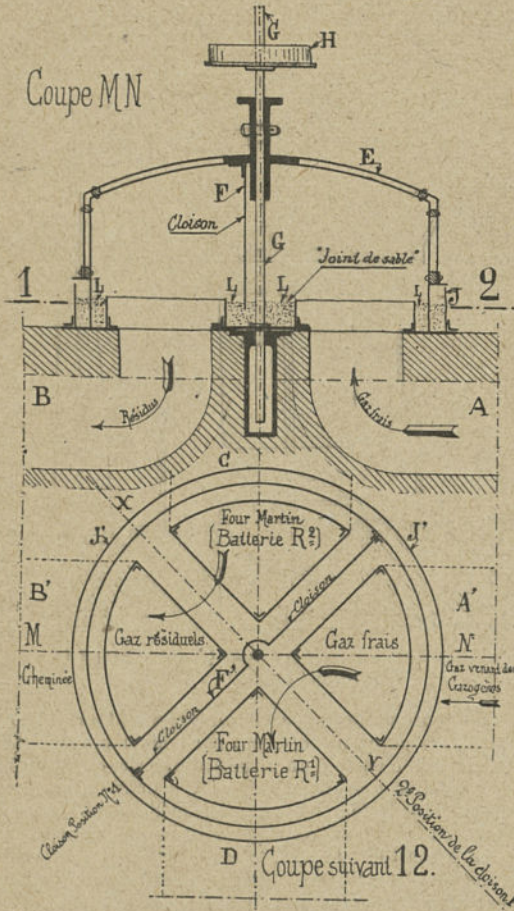
Inverseur à gaz.

(Voir figure 25 bis).

Du clapet à gaz, le fluide combustible suivant les flèches 9 et 10 entre dans un appareil O que l'on appelle l'*inverseur des gaz*.

Le but de cet appareil est de diriger le fluide combustible : soit d'un côté du four Martin, soit de l'autre, suivant que l'une ou l'autre batterie de récupérateurs devra être réchauffée ou non.

Fig. 25 bis. — Inverseur des gaz.



chauffage) avec la cheminée où ces gaz résidués seront évacués.

Un système (non vu sur le dessin) permet de soulever la cloche E (par la tige G) et de la faire tourner (par la poulie H) pour l'amener dans la position N° 2. La cloison vient alors occuper la position XY et l'inversion des gaz a lieu, c'est-à-dire que la batterie R¹ est mise en relation avec la cheminée..., etc..., etc...

Entrée du fluide combustible dans le four Martin.

Bien que nous n'ayons pas pu dessiner toutes les canalisations de peur de nuire à la clarté, il sera facile au lecteur de rétablir la marche du fluide dans le four Martin, lui-même.

Cette figure représente un des appareils accessoires du four Martin précédemment décrit.

Le but de cet appareil est d'effectuer pour ainsi dire « le réglage en direction des gaz combustibles », ces gaz étant déjà réglés en quantité par le clapet de la figure n° 25. Cette inversion est nécessitée du fait de l'existence des deux batteries de récupérateurs devant être mises successivement en communication avec la cheminée de l'usine.

Le haut de la figure 25 bis, représente la coupe verticale de l'appareil, le bas de cette même figure représente une coupe horizontale suivant le plan de coupe 1-2.

1° Les gaz frais arrivant du gazogène (en passant par le clapet à gaz) sont introduits par une canalisation A de là, ils passent dans la cloche E (rendue étanche par un point de sable L, L, L).

La cloison F, F' les dirige vers l'ouverture D qui est en communication avec le four Martin (l'air chaud de combustion provenant alors de la batterie de récupérateurs que nous appellerons R¹).

2° Pendant ce temps l'autre partie de la cloche E (du côté opposé à la cloison F') met en communication, les gaz résidués provenant de la batterie de récupérateurs R² (en cours de ré-

Poche de coulée. — L'acier Martin, une fois produit s'écoule dans la poche de coulée *T* par le chenal *U* (fig. 23).

Un wagonnet *W* sur lequel la poche est portée servira à amener cette dernière en face des moules où seront coulés les lingots.

Lingotières. — Ces moules à lingots, ou « lingotières » sont placés dans une fosse, on les aperçoit en *V*₁, *V*₂.

Grue à lingots. — Une grue non représentée sur le dessin mais qui, en réalité, est à gauche de la voie du wagonnet *W* permettra d'enlever les lingotières une fois la coulée effectuée et de procéder au démoulage.

Destination des lingots. — Les lingots d'acier Martin seront ensuite amenés sous le marteau-pilon ou vers les laminoirs, cela après réchauffage préalable dans des fours spéciaux.

Le marteau-pilon ou les *laminoirs* donneront la forme nécessaire suivant la destination de l'acier.

La forme finale ne sera bien souvent obtenue qu'après une série de martelages ou de laminages, entre lesquels le métal devra être réchauffé pour se trouver dans les conditions voulues afin de mener le travail à bien.

CHAPITRE XVIII

L'ACIER FONDU

Quelques notions sur la fabrication de l'acier au Creuset

Généralités. — La fabrication de l'acier « *au creuset* » est celle des méthodes *donnant le métal le plus homogène et le plus fin.*

De plus, étant donné la facilité que ce procédé donne pour faire des mélanges avant fusion, on arrive à obtenir *des aciers de composition voulue.*

A côté des avantages précités, le procédé exposé présente l'inconvénient de ne donner que des *produits chers* et qui, de ce fait, sont réservés pour des *emplois spéciaux* où la finesse du métal s'impose. (Notamment, pour les Aciers d'outillage).

En raison de la *grande dureté* et de la *ténacité* que donne « *la trempe* » des aciers fondus au creuset, on les utilise après « *revenu* » convenable dans les cas indiqués ci-après.

Nous rappelons rapidement ce que nous avons dit au sujet de *la trempe* qui est une propriété caractéristique des aciers à forte teneur relative en carbone.

Elle consiste à chauffer le métal à une haute température déterminée et à le refroidir brusquement ensuite.

La trempe durcit l'acier, mais le rend fragile, elle doit être suivie d'un traitement correctif appelé le « *revenu* » qui consiste à réchauffer le métal à une température plus faible que celle de la trempe puis à le laisser refroidir, partiellement ensuite.

— Le repérage de la fin du refroidissement partiel (c'est-à-dire la température de revenu) est obtenu à l'aide des colorations diverses que prend l'acier.

Dès que la température en question est atteinte, on refroidit brusquement le métal. « Le revenu » supprime donc la fragilité de l'acier tout en lui conservant des qualités suffisantes de dureté en raison de l'usage que l'on veut en faire ».

A titre d'exemples, nous donnons un certain nombre de « températures de revenu » ainsi que les colorations correspondantes, les utilisations des aciers fondus au creuset qui sont indiquées ci-dessous cadrent avec le chapitre que nous traitons, comme le lecteur pourra le voir ensuite :

Températures	Colorations	Utilisation de l'Acier
316°	Bleu noir	Scies à main
294°	Bleu foncé	Petites scies
294°	»	Poignards
288°	Bleu clair	Ressorts de montres
288°	»	Epées
265°	Brun pourpré	Rabots, haches, cisailles
254°	Brun	Ciseaux, houes, bêches
243°	Jaune foncé	Canifs et rasoirs
232°	Jaune paille	Rasoirs (qualité extra)
221°	Jaune pâle	Bistouris des chirurgiens

Utilisations principales des aciers fondus au creuset. — On se sert de ces excellents aciers :

1° Pour la fabrication d'objets de *coutellerie* et d'*instruments de chirurgie* (bistouris, lancettes).

2° Pour la fabrication de certains aciers à outils à coupe rapide, notamment et pour des outils usuels (*limes, burins, bédanes, marteaux, outillage des chaudronniers, forgerons et mécaniciens, forets hélicoïdaux* ou américains, *fraises*, etc.)

3° Pour la fabrication de certaines pièces de *bijouterie* (bijouterie d'acier) et d'*horlogerie* (ressorts de pendules et de montres).

4° Pour la fabrication des *cylindres de laminoirs*.

Méthode de fabrication. — L'acier au creuset peut s'obtenir : *soit en partant du fer, soit en partant de l'acier de cémentation*. Dans les deux cas le métal est mélangé avec du charbon présentant une grande pureté et que l'on place dans le creuset. Ce charbon qui convient le mieux est celui qui provient de la combustion incomplète du bois.

On recouvre alors les creusets chargés du métal et du charbon de bois (convenablement réparti) et on chauffe le tout dans des fours spéciaux que nous étudierons rapidement, ensuite.

Quand l'acier est devenu liquide on procède à la coulée que l'on effectue dans des *lingotières* en fonte.

Puis le lingot est passé soit *au laminoir*, soit *au marteau-pilon*.

La compression qui en résulte aidera au départ des traces de scories que peut contenir le lingot et permettra aussi d'obtenir une forme déterminée pour le métal.

Notamment il arrivera bien souvent que le lingot passé au laminoir sera *étiré en barres* dont les dimensions transversales (ou « *section* ») seront celles correspondantes à l'emploi ultérieur de l'acier fondu. Exemple : Barre d'acier fondu pour burins, bédanes, etc.

Dans la fabrication de ce métal au creuset, il existe différents tours de mains que les fabricants tâchent de garder secrets, chacun d'eux suivant l'usage... ayant des produits meilleurs que ceux du concurrent.

En tout état de cause : ces artifices de fabrication ont un double but :

1° *Eviter les soufflures (1) au moment de la coulée* afin de ne point obtenir des lingots donnant naissance à des aciers *pailleux après laminage* (qui dit « *paille* », dit « *cassure en perspective* »).

2° *Rendre l'acier aussi pur que possible au point de vue des scories inhérentes à la fabrication*.

Pour obtenir la séparation des scories [que les cendres de bois vont donner] *la méthode générale* consiste à *les rendre fluides par un moyen quelconque* afin de faciliter leur montée au-dessus du bain de métal. Le problème est alors résolu. Dans cet ordre d'idées, nous cite-

(1) Pour éviter les soufflures au moment de la coulée, il suffit d'améliorer l'acier au creuset par l'adjonction d'un métal purificateur tels que ceux qui seront étudiés dans le chapitre des Aciers spéciaux (voir chapitre XX, chapitre-annexe).

rons en particulier, la « *méthode Mushet* ». Ce procédé très ancien est encore utilisé sous forme de variantes. Notamment, les forges et aciéries d'Unieux (Loire) fabriquent des aciers au creuset pour outillage (« *Wolfram* (1), *Holtzer* ») d'après une variante de la Méthode Mushet. Ce procédé consiste à placer dans le creuset (qui contient le fer ou l'acier de cémentation et le charbon de bois) une certaine quantité de *bioxyde de manganèse* dont la formule est MnO^2 .

Ce bioxyde de Manganèse joue un double rôle :

1° Il se combine avec la cendre de bois (qui contient entre autre de la *potasse* et de la *silice*) pour donner un *silicate double fusible de manganèse et de potasse*. (Composition rappelant celle du verre qui est souvent un *silicate double*).

Le but de séparation de la scorie est alors atteint, car elle surnage le bain de métal et au moment de la coulée elle sera *écrémée avant la tombée de l'acier*, si l'on peut s'exprimer ainsi.

2° Le bioxyde de manganèse est encore réduit à son tour par le carbone en présence et du manganèse libre est retrouvé ensuite sous forme de *culot*. (Quand nous disons *réduit* nous rappelons au lecteur que la dite « *réduction* » correspond à un départ d'oxygène (du bioxyde de manganèse qui en l'espèce est absorbé par une partie du carbone).

Quelques mots sur les creusets. — Les creusets servant à l'acier fondu sont fabriqués avec *de la terre réfractaire*.

La fabrication de ces récipients demande à être faite avec un certain soin, à notre avis.

L'épaisseur des creusets doit être régulière non seulement pour que le séchage de la pâte [séchage qui dure environ trois mois] se fasse d'une façon uniformément répartie, mais encore parce qu'au moment où l'on chauffe cet appareil à de très hautes températures il faut que la dilatation se fasse régulièrement ainsi que la contraction au moment du refroidissement. C'est donc une garantie contre la casse ultérieure.

(1) Nous rappelons au lecteur qu'il s'agit d'aciers « *au Tungstène* ». Le nom de « *Wolfram* » est tiré de celui du minerai principal de ce métal. (Le *Wolfram* est un tungstate de fer et de Manganèse que l'on trouve au Portugal, en République Argentine, au Brésil et en Australie. (Voir chapitre des aciers spéciaux).

L'intérieur du creuset est obtenu par le passage d'un « mandrin » dans la pâte, et l'extérieur est tourné sur le même mandrin.

On est alors forcé d'obtenir un bon centrage, donc une bonne répartition de la terre réfractaire tout autour de la circonférence du creuset.

C'est à notre avis à la régularité des épaisseurs que l'on devra la conservation de ces récipients trop souvent mal menés dans les fonderies.

Les creusets grèvent les prix de revient, de l'acier fondu qui nécessite déjà pas mal de frais de manutention aux cent kilogrammes, puisque chaque creuset ne contient guère que 20 kilogrammes de ce métal. Nous sommes loin des 15 à 20 mille kilogrammes obtenus au Bessemer !!

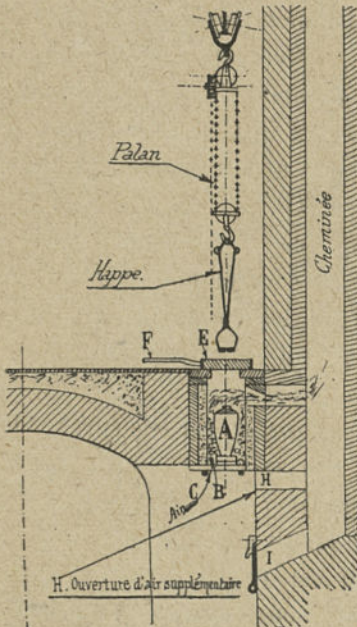


Fig. 27. — Coupe d'un four chauffé au coke pour la fabrication de l'acier au creuset.

Le lecteur aperçoit en A, un des creusets, chauffé au coke B qui l'entoure.

L'air de combustion arrive en C sous la grille soutenant le coke en question.

Une prise d'air supplémentaire H (non représenté sur cette coupe) permet d'envoyer de l'air en plus ou moins grande quantité dans la cheminée afin de régler le tirage et de modérer le feu au besoin.

En I se trouve une ouverture permettant le déchargement rapide et sensiblement automatique de la cheminée. Le lecteur verra de plus un palan métallique déplaçable sur un monorail. Cet appareil sert à soulever le creuset au moment de l'« arrachage » par le moyen de la sorte de tenaille ou « happe » qui est également représentée ici.

prendre ces appareils qui sont d'ailleurs extrêmement simples.

Fours pour le chauffage de l'acier fondu au creuset. — Il existe plusieurs manières de chauffer les fours à creusets :

1° On peut utiliser des fours chauffés au coke.

2° On peut également utiliser des fours chauffés au gaz avec récupérateurs, d'un système identique aux fours Martin que nous avons déjà décrits.

Fours à creuset chauffés au coke. —

Nous donnons une vignette (figure 27) permettant au lecteur de très bien com-

En A, on aperçoit le creuset entouré de coke incandescent.

(Le lecteur pourra concevoir un certain nombre de ces creusets disposés côte à côte et perpendiculairement au plan du tableau, on doit dans ces sortes de fours prévoir suffisamment de place d'un creuset au suivant pour permettre leur « arrachage » au moment de la coulée. Ce travail n'est *précisément pas une sinécure pour l'ouvrier qui en est chargé* et il faut lui faciliter la besogne par la bonne disposition du four).

En B on aperçoit le coke incandescent et en C l'arrivée d'air nécessaire à la combustion.

En D, se trouve la cheminée du four.

En E, le lecteur verra un couvercle servant à obturer l'ouverture correspondante au creuset A (Il y a en général une ouverture par creuset).

Le couvercle E est formé d'un bloc réfractaire entouré d'un cerclage métallique.

Une poignée F permet son déplacement sans trop subir la haute température régnante.

Au moment de la coulée, l'ouvrier qui doit pratiquer l'*arrachage* (c'est-à-dire l'enlèvement du creuset) se sert d'une pince spéciale, appelée « *happe* », qui possède deux longues branches (figure 28) articulées en un point *f*.

La partie inférieure de cette happe est munie de deux demi-cercles qui embrasseront le corps du creuset quand on le soulèvera ou inversement. On peut soulever le creuset à l'aide d'un palan métallique dont le crochet *C* est relié aux branches de la happe par deux maillons de chaîne : *m* et *m'*. Plus le palan exerce un effort vers le haut, plus le creuset est serré par les branches inférieures *b* et *b'*. Cette opération de l'arrachage est très pénible (comme nous le faisons prévoir tout à l'heure) en raison de la haute température du four.

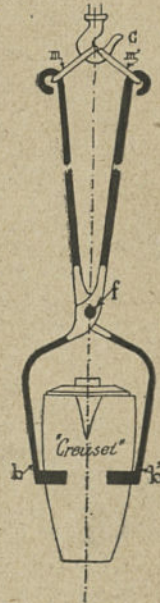


Fig. 28.— Vue d'un creuset pour la fabrication de l'acier fondu.

On aperçoit placée sur le creuset la sorte de tenaille ou « happe » qui sert à l'arracher du four avant d'effectuer la coulée.

Le crochet *c* du palan exercera au moment voulu une traction vers le haut qui, non seulement soulèvera le creuset, mais encore le serrera énergiquement entre les mâchoires demi-circulaires *b* et *b'*.

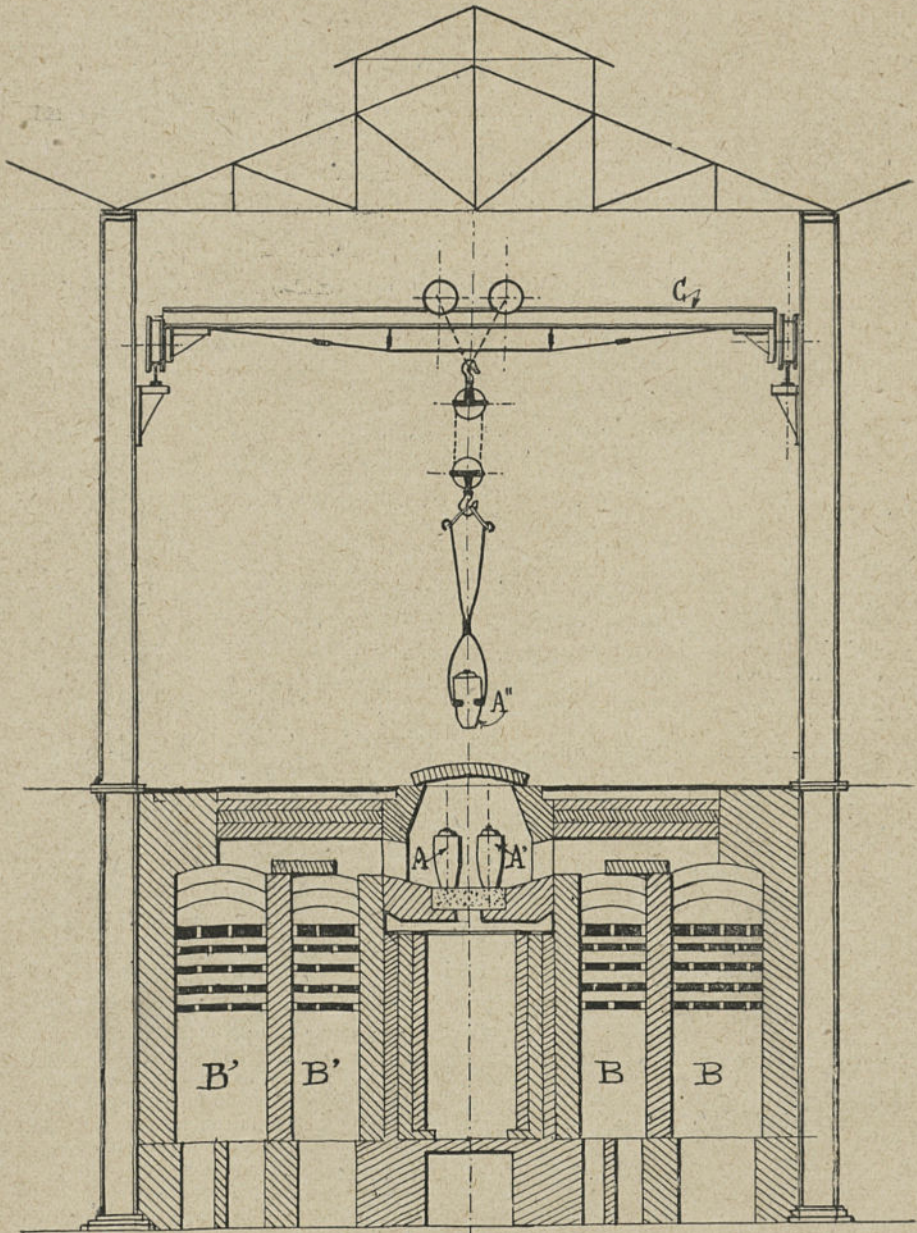


Fig. 29. — Coupe d'un four à creusets chauffé au gaz avec la batterie de récupérateurs.

La figure n° 29 représente un four servant à la fabrication de l'acier fondu. Ce four s'étend sur une longueur suffisante pour recevoir de nombreux creusets. (On en aperçoit deux placés en A et en A').

Des batteries de récupérateurs B et B' permettent de recueillir la chaleur des gaz perdus. Cette chaleur est utilisée ensuite, pour réchauffer l'air de combustion.

Les gaz sont produits par des gazogènes et le fonctionnement (en tant que chauffage) de cet appareil est identique à celui du four Martin (s'y reporter). Un pont roulant C permet de desservir tout le four et de faciliter l'opération de l'arrachage des creusets en vue de la coulée.

Bien souvent l'ouvrier se couvrira d'un manteau spécial, que l'on mouillera au préalable et dont on entretiendra l'humidité pendant le travail.

La vaporisation créant un abaissement de température, rendra le travail moins dur.

Fours à creusets chauffés au gaz. — Nous donnons un croquis (figure 29) montrant au lecteur l'agencement d'un *four à creusets chauffé au gaz*.

On aperçoit deux des creusets A et A' de la série chauffée.

De plus en B et B' le lecteur reconnaîtra le même système de récupérateurs qu'il a déjà étudié à propos de la fabrication de l'acier Martin auquel nous le prions de se reporter pour le fonctionnement de ce four, le mécanisme de production ainsi que d'inversion des gaz et le mécanisme d'arrivée d'air. Nous avons donné au moment de l'étude du four Martin des renseignements assez complets qui permettent d'en bien comprendre l'agencement principal et les agencements annexes.

CHAPITRE XIX

LA CÉMENTATION. — SON UTILISATION PRIMITIVE CÉMENTATION DE L'ACIER

Avant-propos.

La cémentation (dont on ne parle plus guère aujourd'hui qu'au sujet de certains aciers dont on veut augmenter la dureté) a commencé par être, dans le temps, une méthode de production d'acier en partant du fer.

Les « aciers corroyés (1) » qui ont fourni pendant longtemps le métal pour *l'outillage de la taillanderie* (2) n'étaient autre que des aciers obtenus par la Cémentation du fer.

Jusqu'ici nous avons exposé d'une façon générale que l'on fabriquait l'acier *en enlevant du carbone à la fonte qui en contient plus.*

Mais nous aurions également pu parler, pour obtenir de l'acier, d'une méthode qui consisterait à *rajouter du carbone au fer qui en contient moins.*

Cette méthode de fabrication a été appliquée non seulement au fer, mais encore *par extension* à des aciers doux, non trempants, afin de les transformer en *aciers durs* prenant la trempe.

[Nous avons déjà expliqué la trempe et la rappelons encore dans le chapitre précédent].

(1) La signification du « corroyage » est donnée un peu plus loin.

(2) Comme nos lecteurs le savent déjà : *l'outillage se rapportant à la taillanderie* est celui utilisé par les *charrons, les charpentiers, les tonneliers.*

Utilisation primitive de la Cémentation. — Procédons par ordre et commençons par la méthode qui fut utilisée pour *fabriquer de l'acier en partant du fer*.

Nous ne donnerons sur ce procédé ancien que quelques notions afin de montrer combien il était imparfait.

On place dans des boîtes spéciales (1), par couches successives, des matières très chargées en carbone (*Déchets de corne, charbon de bois concassé*) et des barrettes de fer. Ces barrettes sont plus larges qu'épaisses, cela afin de ménager le maximum de contact avec les matières chargées en carbone, qui ont reçu le nom général de « *cément* ».

On fait, en un mot, ce que l'on pourrait appeler des « *stratifications successives* » :

« Cément puis fer » ; « Cément puis fer » ; etc. La caisse de cémentation est ensuite soigneusement fermée. Toutes les ouvertures sont bouchées avec de « *la terre à four* » .

(Cette terre à four est constituée par une sorte de pâte argileuse).

On prépare donc la caisse pour faire ce que l'on est convenu d'appeler le « *chauffage en vase clos* » .

Il doit en être ainsi, car si l'air pénétrait dans les boîtes de cémentation, le carbone disparaîtrait rapidement sous forme d'acide carbonique et l'opération serait manquée, car le carbone du cément *doit exister* pour être incorporé... cela va sans dire !

Donc la nécessité de la fermeture soignée des boîtes de cémentation étant établie, passons à leur chauffage.

Des fours spécialement disposés reçoivent les caisses et le chauffage dure de 15 à 20 jours.

On laisse ensuite refroidir une dizaine de jours..... (*c'est-à-dire que l'opération a duré près d'un mois!*) et l'on obtient quoi?..... un acier *imparfait, irrégulier comme carburation, hétérogène* en un mot.

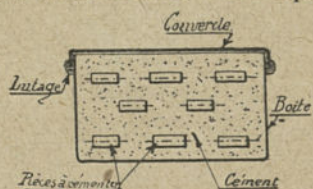


Fig. 30. — Boîte de cémentation.

Cette caisse en tôle munie d'un couvercle contient les pièces d'acier dont on va augmenter le degré de carburation par le chauffage en présence du cément (voir le texte).

(1) Voir figure n° 30 : « Boîte de cémentation ».

Donc, pour pouvoir l'utiliser il va falloir le rendre homogène, c'est là qu'intervient « *le corroyage* ».

(Nous rappelons que le verbe « *corroyer* » signifie, dans le cas particulier du fer : « *battre à chaud* ». Ce corroyage *donne du corps au métal*, il en resserre les fibres et en augmente aussi l'homogénéité).

Pour procéder au corroyage on commencera par *couper les barrettes* que l'on a retirées de la caisse de cémentation.

Puis on les classe *d'après la cassure* en se basant sur le degré de carburation ou de dureté *et on rassemble tous les morceaux dont la texture est analogue* (1).

On chauffe ensuite ces morceaux puis on les étire en barres.

Avec ces barres, on fait des paquets qui après réchauffage et soudage sont passés au marteau-pilon.

Le triage préalable et le martelage bonifient les qualités de l'acier produit. Tel est le corroyage.

Des martelages successifs augmentent encore cette homogénéité, mais l'acier obtenu aura une bien meilleure qualité, une bien plus grande finesse s'il est ensuite *raffiné au creuset par fusion*.

Dans le chapitre spécial des « *aciers au creuset* » le lecteur a vu comment une pareille fusion s'effectue.

Sans entrer dans plus de détails sur ce procédé ancien et en notant simplement que le « *principe de la cémentation* » peut être considéré comme compris et appris, nous allons passer à son application moderne.

Cémentation des Aciers — Les « *aciers de cémentation* » qui sont très utilisés actuellement et notamment en matière de construction automobile sont des *aciers doux*, c'est-à-dire voisins du fer.

Nous prenons la dénomination d'« *acier doux* » sous forme générale et y comprenons les aciers « *extra-doux* » et « *extra-extra-doux* ».

Pour fixer les idées, nous dirons que les Aciers, bons pour la cémentation, ont au maximum 0,12 % de carbone et d'après le graphique donnant la classification des aciers (voir figure 31 page 163) on peut voir *à priori que ces aciers ne prennent pas la trempe*.

(1) C'est là le point psychologique de l'opération....

But de la cémentation des aciers. — « *Le but de la cémentation appliquée aux aciers voisins du fer est de les recharger en carbone afin de leur permettre de se transformer en aciers durs susceptibles de prendre la trempe* ».

En principe, cette opération s'applique surtout à la surface de l'acier que l'on désire durcir après trempe. On laisse le cœur du métal à l'état d'acier doux et non fragile.

Cette façon de procéder est extrêmement intéressante en matière de construction mécanique, où l'utilisation de pièces *non fragiles et ne devant pas s'user facilement* est constante.

Pour effectuer la cémentation de l'acier on se sert de caisses de cémentation et toute la préparation de la cuisson en vase clos a été exposée à propos de la cémentation du fer (voir figure 30).

Le *cément* que l'on utilise est couramment acheté dans le commerce, on n'a pas besoin de le préparer, ce qui est une sujétion en moins.

Les boîtes soigneusement fermées sont chauffées pendant un nombre d'heures qui dépend de l'épaisseur de la couche cimentée à obtenir.

Ainsi en chauffant *10 heures consécutives* on obtient une épaisseur de cémentation qui est d'environ 1,2 mm.

La vitesse de marche horaire de l'opération et donc approximativement de 0,12 mm.

Souvent les pièces cimentées ne devront pas l'être dans toutes leurs parties. On protégera alors avec de la *terre à four* les régions de la pièce que l'on veut préserver et auxquelles on veut conserver intégralement les propriétés des aciers doux.

Les parties cimentées seront trempées à la sortie du four.

Le chauffage des fours de cémentation s'effectue dans les environs de 850°. Cette haute température est repérée à l'aide de thermomètres spéciaux, que l'on appelle des « *Pyromètres électriques (1)* ».

(1) Le *pyromètre électrique* est constitué en principe par un « couple thermo-électrique » : Exemple *platine et platine irridié*, ce « couple », chauffé, donne un courant dont l'énergie est fonction de la valeur de la température. Un cadran permet de lire la valeur de cette température grâce au courant électrique créé.

Les pyromètres permettent donc de régler le feu et de se maintenir dans les meilleures conditions de chauffage.

Quand l'ouvrier conduisant le travail, juge qu'il est arrivé au degré de cémentation voulue, cela d'après la durée de l'opération et d'après des éprouvettes témoins (que l'on soumet à la même cémentation que les pièces principales), il cesse de chauffer.

La caisse de cémentation est refroidie jusque 740 à 750°, puis on procède à la trempe.

Telle est la méthode de cémentation des aciers voisins du fer.

CHAPITRE XX

CLASSIFICATION DES ACIERS ORDINAIRES ET ÉTUDE GÉNÉRALE DES ACIERS SPÉCIAUX

Nous avons ajouté ce chapitre à la demande d'un certain nombre de personnes s'intéressant à la construction automobile.

Nous avons fait notre possible pour rendre cette étude assimilable à tous.

NOTES PRÉLIMINAIRES

Les grands progrès qui ont été faits dans la métallurgie depuis quelques années sont dus surtout, non seulement aux besoins de l'Artillerie et de la Marine mais encore à ceux de l'Automobilisme et de l'Aviation.

a) Pour l'Artillerie, il est nécessaire, en effet, d'avoir des aciers à grande résistance pour la construction des canons, cela afin d'augmenter la portée du tir tout en ayant des pièces dont le poids ne soit pas exagéré.

A côté des canons, il y a également les projectiles qui nécessitent l'emploi d'aciers devant remplir des conditions déterminées.

b) Pour la Marine (en plus de ce que nous venons de dire, qui s'applique aussi bien à l'artillerie de terre qu'à l'artillerie de côte et de marine) il est nécessaire d'obtenir pour les vaisseaux de guerre des plaques de blindage dont la résistance soit en rapport avec la puissance des explosifs et avec l'effet destructif des obus.

La puissance des explosifs, l'effet brisant des obus de rupture sont devenus de plus en plus grands, on a, par conséquent, dû chercher des aciers de plus en plus résistants pour constituer des blindages efficaces.

c) et d) Enfin pour l'*Automobilisme* et l'*Aviation*, la recherche de bons aciers s'explique par la préoccupation que les constructeurs ont eu d'utiliser des métaux dont la résistance soit la plus grande possible sous le plus faible poids.

Les courses d'automobiles ont eu, c'est incontestablement reconnu, une influence très grande non seulement sur la construction automobile proprement dite, mais encore sur l'*utilisation des aciers spéciaux* dont nous parlerons plus loin.

e) Nous ne terminerons pas ces notes préliminaires sans signaler à nos lecteurs les progrès considérables qui ont été faits dans une autre branche touchant aux aciers. Nous voulons parler des « *aciers-rapides* » qui sont aussi des aciers spéciaux.

La nécessité de la création de pareils aciers réside non seulement, dans le fait qu'il fallait usiner des métaux de plus en plus durs, mais encore dans l'*obtention du travail en grande série* dont l'application des « *méthodes de Taylor* » reste un des plus beaux exemples.

Division générale des aciers au point de vue de leur utilisation. — On peut évidemment adopter tel programme que l'on juge le plus convenable quand on veut parler des aciers au point de vue de leur utilisation pratique.

Nous diviserons la question en deux :

1° Etude générale sur les aciers ordinaires (DIVISION A).

2° Etude générale sur les aciers spéciaux (DIVISION B).

Quand nous parlons ici d'*études générales* nous voulons montrer que nous n'avons pas l'intention dans le cadre de cet ouvrage d'entrer dans des détails absolument particuliers à des types déterminés d'aciers fabriqués par telle ou telle firme.

Le lecteur qui désire plus de détails n'a qu'à se reporter aux indications données par les Forges ou indiquées sur leurs catalogues.

Cela est notamment le cas des aciers spéciaux de Firminy.

Ces aciéries ont fait établir un catalogue très détaillé, où sont indiqués les *traitements thermiques* correspondants à des aciers déterminés.

Dans le cadre de ce modeste ouvrage, nous ne donnerons que

des indications générales sans entrer dans le détail des traitements thermiques.

Différence entre un acier ordinaire et un acier spécial. — Afin de bien différencier les aciers ordinaires des aciers spéciaux, nous rappelons qu'un « *acier ordinaire* » ne contient que deux éléments :

« *Fer* » et « *Carbone* »

alors qu'un « *acier spécial* » quelconque contient *au moins trois éléments*.

Le 3^e élément en plus du *fer* ou du *carbone* est constitué par du *Nickel* ou du *Chrome*, ou du *Manganèse*, ou du *Vanadium*, etc., etc...

On rencontre aussi des aciers spéciaux contenant deux éléments supplémentaires en plus du *fer* et du *carbone* tels que les aciers :

Nickel-chrome.

Mangano-siliceux.

Enfin il en existe encore de plus complexes et contenant trois éléments supplémentaires.

EXEMPLE : Les aciers Nickel-Chrome-Molybdène.

Nous pourrions donc après avoir montré ce qu'est un « *acier ordinaire* » définir un « *acier spécial* ».

C'est un métal contenant d'abord les mêmes éléments initiaux (Fer et Carbone), qu'un acier ordinaire et contenant ensuite des éléments supplémentaires (Nickel, Chrome, Tungstène, Molybdène, etc..., etc...), qui ont été incorporés à l'acier primitif en vue de son amélioration dans un but bien déterminé.

Quand nous disons dans un *but bien déterminé* nous voulons porter l'attention du lecteur sur ce que les métaux rajoutés le seront toujours, en vue de l'utilisation future de l'acier.

EXEMPLE : Si nous voulons obtenir un acier très dur pour la fabrication des roulements à billes et des butées à billes (automobiles, bicyclettes), nous verrons qu'il faut incorporer du *chrome*. L'acier spécial au chrome répond donc à un but bien déterminé, cela *qualitativement* et *quantitativement aussi*, car cela va de soi, il faut tenir compte des proportions de l'élément rajouté.

2° EXEMPLE. — Nous voulons obtenir de l'acier très élastique pour fabriquer des ressorts d'automobiles. Il faudra alors faire une incorporation de *silicium*. Nous reviendrons là-dessus au moment voulu.

Le lecteur comprend donc que les incorporations faites dans un acier ordinaire, pour obtenir un acier spécial, *le sont dans un but bien déterminé* et que tel acier spécial, *aussi bon soit-il*, peut très bien ne pas convenir du tout à la place de tel autre acier.

DIVISION A

ÉTUDE GÉNÉRALE SUR LES ACIERS ORDINAIRES

(Voir classification graphique. Figure n° 31)

Les proportions de *fer* et de *carbone* rentrant dans les aciers ordinaires, donnent toute une gamme de produits.

Leurs propriétés se différencient d'abord par la « *soudabilité* » possible ou impossible et ensuite par la « *trempe* » qui, pour certains aciers, est praticable alors qu'elle est impraticable pour d'autres.

Les propriétés de trempe et de soudabilité sont, d'une façon générale, inverses dans les différentes catégories d'aciers.

Expliquons-nous : On peut dire d'une façon générale que les aciers qui prennent bien la trempe, ne se soudent pas et réciproquement.

On peut aussi consulter à nouveau notre graphique (figure n° 1), pour situer les aciers dans la gamme : « *fer, aciers, aciers sauvages, fonte.* » (Voir commencement de cet ouvrage.)

La teneur en carbone des aciers varie de 0,05 % à 0,80 %. Voir fig. 31.

1° *Au-dessus du pourcentage le plus élevé*, se trouvent les « *aciers sauvages* » et « *les fontes* » (figure n° 1).

2° *Au-dessous du pourcentage le moins élevé* se trouvent les « *fers industriels* » (figure n° 1).

Voici les dénominations diverses des aciers ordinaires (figure n° 31) :

1° Les aciers *extra extra-doux*,

2° Les aciers *extra-doux*,

3° Les aciers *très-doux*,

4° Les aciers *doux*,

Fig. 31. — Classification des aciers ordinaires suivant la teneur en carbone pour cent

Le graphique ci-contre permet de se rendre compte de combien la résistance à la traction d'un acier ordinaire augmente avec la proportion de carbone pour cent.

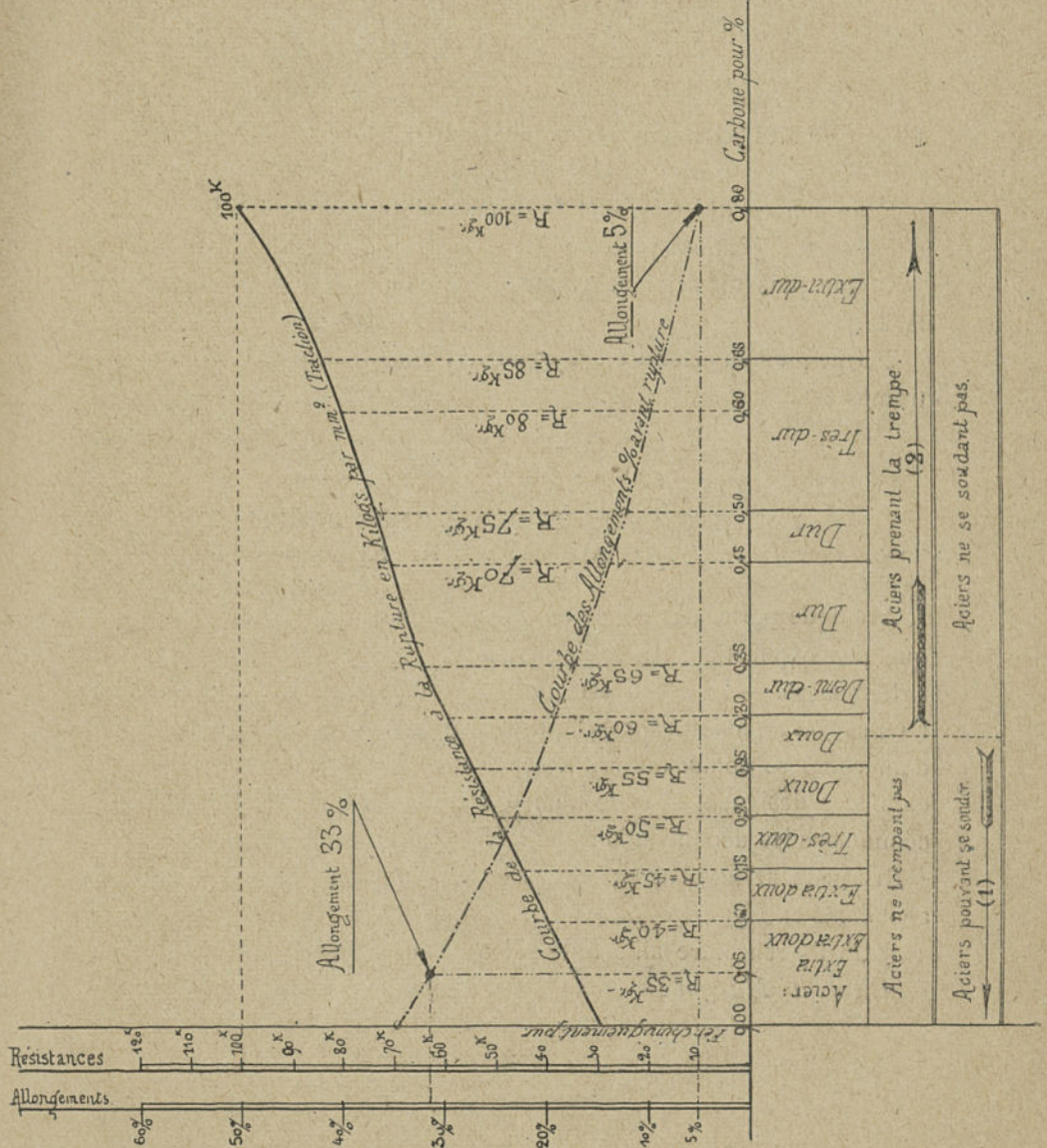
La courbe ascendante (en trait plein) indique cette progression de résistance et montre qu'un acier ne possédant que 0,05 % de carbone, ne résiste qu'à 35 kgr. par mm² alors qu'il résiste à 100 kgr. par mm² quand il possède 0,80 % de carbone.

Par contre, le lecteur verra par la courbe en traits mixtes, que l'allongement pour cent avant rupture diminue, au contraire avec le pourcentage en carbone. [Ces allongements % sont déduits après rupture, entre deux repères tracés d'avance sur une éprouvette d'essai de 100 mm. de longueur et 100 mm² de section].

Le lecteur verra également que les aciers prennent d'autant mieux la trempe que le pourcentage de carbone est plus grand alors que la soudabilité est au contraire d'autant meilleure que les aciers se rapprochent du fer, c'est-à-dire ont moins de carbone.

La flèche n° 1 (à gauche) indique le sens à augmentation de la faculté de soudabilité.

La flèche n° 2 à droite, indique le sens d'augmentation des qualités de la trempe.



- 5° Les aciers *demi-durs*,
- 6° Les aciers *durs*,
- 7° Les aciers *très durs*,
- 8° Les aciers *extra-durs*.

Nous donnons un graphique (*figure 31*) combiné avec les dénominations des aciers et leur aptitude à la trempe et à la soudure.

Cette classification graphique montre au lecteur *la résistance croissante de l'acier*, au fur et à mesure *de l'augmentation du pourcentage de carbone*.

La courbe de l'allongement pour cent (en trait mixte), montre au lecteur que les aciers de plus en plus chargés en carbone, *s'allongent de moins en moins avant rupture*. C'est un *indice de leur fragilité*.

Enfin, en ce qui concerne la trempe et la soudabilité, on peut voir d'après les indications, placées sous le graphique :

1° Que plus un acier se rapproche du fer, plus sa soudabilité est facile.

2° Que plus un acier s'éloigne du fer, plus il acquiert facilement la trempe.

DIVISION B

ÉTUDE GÉNÉRALE DES ACIERS SPÉCIAUX LES ACIERS AU NICKEL

Avant de parler des aciers au nickel, il nous paraît utile de donner quelques explications sur ce dernier métal.

HISTORIQUE. — La découverte du nickel date de 1751. Elle serait due à un savant nommé *Cronstedt* qui l'aurait extrait pour la première fois d'un composé contenant de l'Arsenic et du Nickel. Ce composé que les chimistes désignent sous le nom d'Arseniure de Nickel est également connu sous les dénominations de « *Nickeline* » et de « *Kupfernichel* ».

GISEMENTS ET MINERAIS DE NICKEL. — Les minerais de nickel sont très abondants en *Nouvelle-Calédonie*.

1° On l'y rencontre allié à la silice et au manganèse sous forme de « *Silicate de Manganèse et de Nickel* » qui est dénommé vulgairement « *Noumèite* » ou « *Garnierite* ».

2° On rencontre également dans la nature la « *mellerite* » qui est un *sulfure de Nickel*.

3° L'*Arsénio-sulfure de Nickel* qui est allié au *Cobalt* et enfin
4° L'*Arseniure de Nickel* (*Nickeline* ou *Kupfernichel*) que nous avons déjà cité à propos de la découverte même du Nickel. Tous ces minerais et quelques autres encore peuvent, *après des traitements appropriés*, donner du Nickel.

Le mécanisme du traitement du *Sulfure de Nickel* ou de l'*Arsénio-sulfure de Nickel* consiste surtout dans une série de grillages à l'air permettant d'oxyder le Nickel et d'arriver à obtenir un *oxyde de ce métal*.

Ensuite on chauffe le *nickel oxydé* en présence du *carbone* dans des creusets spéciaux et on arrive à opérer ce que les chimistes appellent « *la réduction* », bien connue de nos lecteurs.

Le lecteur se rappellera que nous avons étudié un traitement dont le principe est identique au moment où nous avons décrit la fabrication de la fonte dans le haut-fourneau.

Là il s'agissait du minerai de fer (qui est un oxyde de fer) que l'on réduit par le *carbone* (*coke*) afin d'obtenir un *carbure de fer*.

Dans le traitement du Nickel on obtient un *carbure de Nickel*. Le lecteur voit combien l'analogie est parfaite...

Le *carbure de Nickel* est coulé en plaques et ces dernières serviront à obtenir du Nickel pur *par voie électrolytique*.

Pour revenir à nos aciers spéciaux au Nickel, ce dernier métal sera introduit dans le bain d'acier sous forme de *Ferro-Nickel* dans des proportions déterminées afin d'obtenir des aciers spéciaux correspondants et répondant à un *desiratum* voulu.

Différentes sortes d'aciers au Nickel. — Nous distinguerons au point de vue industriel deux classes d'acier au Nickel.

1° Les aciers à faible teneur de Nickel (en contenant moins de 7 ‰).

2° Les aciers à haute teneur de Nickel (en contenant plus de 20 ‰).

Entre ces deux classes les aciers obtenus ne présentent aucune espèce d'intérêt pratique, car ils sont trop cassants pour être non seulement utilisés mais encore pour être usinés.

Quelques mots sur les aciers au Nickel à faible teneur. Un de leurs emplois en construction automobile. — *La caractéristique de l'incorporation du Nickel dans les Aciers spéciaux à basse teneur réside dans l'augmentation générale de solidité qui en résulte.*

Par augmentation de solidité nous entendons non seulement que les aciers au Nickel (basse teneur) *résistent bien aux chocs*, mais encore qu'ils ont une *bonne résistance à la flexion* (même dans le cas d'efforts alternatifs de flexion, c'est-à-dire de ceux qui sont appliqués au métal dans les plus mauvaises conditions).

Nous allons citer un exemple d'application de ces aciers.

Les châssis d'automobiles sont fabriqués avec de la tôle d'acier au nickel (basse teneur) ayant subi l'opération d'*emboutissage*.

Chaque châssis est formé de deux pièces longitudinales (*longerons*) réunies par des pièces transversales (*traverses*).

Les assemblages des traverses et des longerons sont effectués avec des rivets et les angles sont rendus indéformables par l'interposition de pièces appelées « *goussets* », pour les camions-automobiles notamment ou, par l'épanouissement des extrémités même des traverses (voiture de tourisme). Le châssis est soumis à des *chocs* atténués par les pneumatiques ou les bandages pleins en caoutchouc, mais qui n'en existent pas moins. En outre, le châssis subit des *séries de flexions* vers le haut ou vers le bas en raison des cahots de la route.

Dans les premiers temps de la construction automobile, *les châssis cassaient souvent*, surtout, vers l'avant et vers l'arrière.

Le lecteur se rappellera alors que l'on n'utilisait pas à cette époque, pour cette industrie naissante, les métaux appropriés.

Ce n'est que progressivement, après l'expérience de la pratique courante et l'enseignement si utile que donnaient les *courses d'automobiles*, que l'on a appliqué avec succès les aciers spéciaux au Nickel.

Le Nickel qui a pour *qualité principale d'augmenter la solidité*, c'est-à-dire la résistance aux chocs et la résistance à la flexion, devait forcément très bien réussir pour les châssis d'automobiles.

Quelques mots sur les Aciers au Nickel à haute teneur (Plus de 20 %). — Le nickel incorporé dans l'acier avec une teneur de 20 à 25 % lui confère des qualités spéciales.

Ces aciers sont *inoxydables*. Ils ont de ce fait été utilisés sur une grande échelle pour la fabrication des soupapes des moteurs à essence.

Les soupapes d'échappement des moteurs sont soumises en effet à la haute température des gaz résiduels et les aciers ordinaires arrivent à s'oxyder.

Il se forme sur la partie portante de la soupape des sortes de petites cavités ou piqûres qui rendent toute étanchéité illusoire.

Le défaut d'étanchéité entraîne l'opération fréquente dite du « rodage ». Cela est une sujétion que ne donnerait pas un métal *inoxydable*.

Les soupapes en acier au Nickel ne s'oxydent pas. Elles sont donc très intéressantes, pour l'usage que nous signalons.

Le seul obstacle à leur usage généralisé est le prix élevé des aciers au Nickel à haute teneur qui a limité leur emploi.

En effet, certains constructeurs qui cherchent à arriver aux meilleurs prix de revient possible ont utilisé et l'acier demi-dur pour les soupapes d'aspiration et l'acier au nickel basse-teneur pour les soupapes d'échappement.

D'autres ont préféré conserver l'acier au Nickel à haute-teneur pour les soupapes d'échappement et ont utilisé simplement l'acier demi-dur pour les soupapes d'aspiration.

En terminant le lecteur se rappellera en résumé, les deux caractéristiques principales du Nickel incorporé.

1° Le Nickel incorporé dans les *aciers à basse-teneur* augmente la résistance aux chocs et la résistance à la flexion.

2° Le Nickel incorporé dans les *aciers à haute-teneur* leur confère des qualités remarquables d'inoxydabilité.

Aciers spéciaux au Chrome.

Quelques mots sur le Chrome lui-même — La découverte du chrome date de 1797. Elle est due à Vauquelin, chimiste français (1763-1823).

Vauquelin, en plus de la découverte du Chrome a fait de remarquables travaux sur l'analyse des corps organiques et la cristallographie.

Etat naturel du Chrome. — 1° Nous citerons d'abord comme nous intéressant particulièrement la combinaison du *Chrome* avec le *Fer* et l'*Oxygène* que l'on rencontre dans la nature. C'est le « *fer chromé* ». Nous verrons son utilisation importante dans la fabrication des aciers spéciaux.

2° Il existe également un autre minerai de Chrome que l'on trouve en Sibérie où ce métal se trouve allié au *Plomb* et à l'*Oxygène*. C'est le « *Chromate de Plomb* ».

Utilisation du « fer-chromé ». — Il est intéressant de noter que le « *fer-chromé* » traité dans un haut-fourneau avec du minerai de fer en présence du carbone donne le « *ferro-chrome* » qui sert à la fabrication des « *Aciers chromés* ». Dans le haut fourneau, le ferro-chrome se produit par suite d'un double départ d'*oxygène* qui s'opère non seulement sur le fer-chromé mais encore sur le minerai de fer (oxyde de fer).

Cette « *double réduction* » donne alors une sorte de fonte au chrome que l'on appelle le « *Ferro-chrome* » déjà cité (1).

Propriétés générales données par l'incorporation du chrome dans l'acier. — Le chrome donne une très grande dureté à l'acier, cela explique l'emploi de l'acide chromé pour les obus de rupture.

A un moment donné on a même fabriqué des canons avec cet acier spécial mais on a dû abandonner ce procédé probablement à cause de certaines difficultés de fabrication qui rendent l'acier au chrome trop cassant.

L'emploi le plus important des aciers chromés est certainement la fabrication des roulements et butés à billes ainsi que des billes elles-mêmes.

Teneur en chrome des aciers chromés. — La teneur en chrome des aciers employés en matière automobile, notamment pour les billes et chemins de roulement est d'environ 2 % (c'est de la basse teneur). On peut noter de plus que ces aciers contiennent de 0,8 à 1,2 % environ de carbone.

(1) Nous verrons plus loin qu'une marche analogue sert à obtenir les « *Ferro-Manganèse* » servant à fabriquer les Aciers au Manganèse.

Les aciers spéciaux à haute teneur en chrome ne sont pas utilisés, car ils sont très fragiles et cela malgré leur bon allongement pour ‰.

Ces aciers font d'ailleurs exception à cette règle générale que « *la fragilité d'un métal correspond toujours à un faible allongement pour ‰* ».

Aciers au Nickel-chrome

Propriétés générales données par l'incorporation simultanée du Nickel et du Chrome. — Le Nickel et le Chrome incorporés à l'acier lui donnent une *très grande résistance sans fragilité*.

La résistance de ces aciers spéciaux *dépasse celle des aciers très durs au carbone seul* et il ne faut pas oublier que les aciers très durs sont très chargés en carbone *et ont une très grande fragilité* qui est corrélative d'un faible allongement ‰ avant rupture.

Cette incorporation simultanée de nickel et de chrome améliore donc les qualités générales des aciers très durs, et le lecteur retiendra cette propriété intéressante qui est la diminution de fragilité.

Quelques chiffres afin de fixer les idées sur l'influence bienfaisante de l'incorporation du nickel et du chrome. — Nous allons placer quelques chiffres sous les yeux du lecteur afin de mettre en évidence ce que nous venons d'exposer.

1° Il existe des aciers (au carbone seul) contenant 0,8 ‰ de carbone. Ce sont des aciers ordinaires extra-durs. Ils peuvent résister à la traction jusqu'à 400 kilogrammes par millimètre carré avant rupture. Cette résistance est donc très belle, mais, par contre, ces aciers extra-durs ne subissent (avant rupture) *qu'un allongement de 5 ‰*.

2° Si l'on incorpore du Chrome et du Nickel dans l'acier, on peut arriver à le faire résister à 120 kilogrammes par millimètre carré (avant rupture) et cela avec un allongement de 11 ‰ *c'est-à-dire plus de deux fois plus grand que précédemment*.

Comme nous estimons que l'allongement ‰ d'un métal est, en principe, *un indice de non-fragilité*, le lecteur verra, par les chiffres précédents, combien l'incorporation du Nickel et du Chrome augmente non

seulement la résistance unitaire à la traction mais encore diminue la fragilité.

Utilisation pratique des aciers au Nickel-Chrome. — En matière automobile les aciers au Nickel-Chrome ont été utilisés avec succès pour la fabrication d'une pièce délicate et importante entrant dans la construction des moteurs.

Nous voulons parler du vilebrequin qui doit présenter une bonne résistance à la flexion, à la torsion et à l'usure.

De plus, cette pièce soumise à des chocs *ne doit point être fragile.*

Les aciéries de Firminy fournissent des aciers au Nickel-Chrome pour l'usinage des essieux avant et arrière des véhicules automobiles de poids lourds (camions) (1).

Mais en matière de construction automobile, il y a encore bien d'autres pièces pour lesquelles l'acier au Nickel-Chrome trouve son emploi avec succès, nous voulons parler *des bielles, des soupapes, des engrenages, des arbres de transmission, etc...*

En matière d'Aviation, les aciers au Nickel-Chrome ont donné de bons résultats pour la fabrication des *plaques de blindage des avions de chasse.*

En matière d'Artillerie et d'Infanterie on fait, également, une bonne utilisation de ces aciers spéciaux pour les plaques pare-balles, etc., etc.

Aciers spéciaux au Manganèse

Quelques mots sur le manganèse lui-même. — La découverte du Manganèse date de 1774. Elle est due à Scheele (Charles-Guillaume), célèbre chimiste suédois (1742-1786).

Le Manganèse est un métal d'un gris blanchâtre. Il est dur et fragile.

Sa densité est de 7,2, son poids atomique est de 55 correspondant au symbole chimique : Mn.

On rencontre le Manganèse dans la nature sous forme d'*oxydes.*

(1) On voit encore par cet exemple l'emploi de l'acier Nickel-Chrome dans le cas de pièces soumises à un travail très dur (*chocs, flexion*).

Les minerais de Manganèse s'appellent :

La Pyrolusite (MnO_2).

La Hausmanite (Mn_2O_4).

L'Acerdèse ($\text{Mn}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$).

La Craunite (Mn_2O_3).

Au point de vue de la fabrication des aciers spéciaux au Manganèse nous devons citer que la *pyrolusite* [MnO_2] (ou bioxyde de manganèse) est très employée pour fabriquer les « *ferro-manganèses* ».

Pour obtenir les *ferro-manganèses*, on traite le bioxyde de manganèse mélangé avec des minerais de fer, par du carbone. Il se produit alors des « *Ferro-manganèses* » qui seront utilisés pour produire de l'acier au manganèse. C'est la même marche que celle utilisée pour les « ferro-chrome »

Propriétés générales données à l'acier par le Manganèse incorporé. — 1° *D'une façon générale le manganèse améliore la résistance de l'acier à la traction.*

Il ne faut cependant pas croire que l'on puisse incorporer du Manganèse dans de l'acier *en toutes proportions et surtout sans tenir compte de la teneur simultanée de cet acier en carbone.*

[Alors, par exemple, que l'acier au Manganèse à 12 % en présence de 1,2 % de carbone, constitue un acier excellent (comme le signale M. Cheffer dans une série d'articles très-intéressants qu'il fit paraître dans l'*Automobile-aux-Armées*) (1) d'autres aciers au manganèse contenant plus de 1 % de ce métal deviennent cassants en présence de 0,50 % de carbone même après le recuit].

2° L'action bienfaisante du Manganèse provient de sa grande affinité pour les métalloïdes. Nous avons étudié l'action purificatrice du Manganèse au moment de la fabrication de l'acier. Nous avons vu que grâce à ce métal il se produisait *une scorie silico-manganeuse très fusible qui purifiait le métal* dont elle se sépare par différence de densité.

Nous avons également vu en étudiant la fabrication de l'acier que l'*affinage final* du métal était dû à des additions de composés du Manganèse (Ferro-Manganèse et Spiegeleisen).

(1) En 1918.

Si le Manganèse contribue à enlever les impuretés de l'acier il ne peut en principe qu'en améliorer les qualités. Par conséquent, si le *Manganèse passager* qui forme la scorie, reste pour le lecteur comme un améliorant, *il est tout à fait rationnel de penser que du Manganèse en excès prolongera son action purificatrice* qui se manifestera par d'excellentes qualités mécaniques autant au point de vue de la résistance à la traction, que de la résistance au choc et bon allongement.

Toutefois le lecteur ne perdra pas de vue, pour les raisons précédemment exposées, que les aciers au manganèse constituent des métaux dans lesquels la teneur en Manganèse *ne peut être envisagée seule*.

La teneur en carbone doit toujours être mise en parallèle avec la teneur en manganèse, cela pour se trouver dans des limites telles que l'acier ne soit pas cassant.

Utilisation des aciers au Manganèse. — L'utilisation des aciers au Manganèse se rencontre dans la fabrication de roues de wagonnets et des croisements de rails (Chemins de fer, tramways).

C'est la résistance à l'usure de cet acier qui a été mise à profit dans la fabrication des pièces en question (Aciers Schneider au Manganèse).

En matière automobile on peut également faire des vilebrequins en acier au Manganèse.

Le vilebrequin (1), pièce délicate, doit pouvoir résister à la flexion, à la torsion ainsi qu'à l'usure dans les parties dénommées « *soies* » qui s'appuient sur les coussinets du carter et dans les parties dénommées « *manetons* » qui tournent dans les têtes de bielle.

Le Manganèse confère à l'acier des qualités de résistance à la flexion et à la torsion et des qualités de résistance à l'usure qui en font un métal très intéressant pour le vilebrequin.

Les roulements à billes (que l'on fait surtout maintenant en acier chromé) ont été également fabriqués avec succès à l'Etranger, en utilisant l'acier au Manganèse.

(1) Pour toutes explications concernant les pièces utilisées en matière automobile on peut consulter l'*Aide Mémoire du Gradé automobiliste* (Tome I) ouvrage du même auteur (Editeur Lavauzelle).

L'*Aide Mémoire du Gradé Automobiliste*, portera pour l'après guerre le titre « *L'automobile à la portée de tous* » (1^{er} degré).

Aciers spéciaux au Silicium

Quelques mots sur le Silicium lui-même. — La découverte du Silicium est due à *Berzélius* (1779-1848), chimiste suédois qui fut le créateur d'une théorie de formules et proportions chimiques : nommée théorie des *Equivalents*, théorie qui fut longtemps en usage mais qui a été remplacée par celle plus moderne dite « *Atomique* » (1).

Berzélius a également découvert un corps appelé le *Sélénium* que nous citons pour mémoire.

La découverte du Silicium par *Berzélius* (1808) a été complétée par les travaux de Sainte-Claire Deville (1854) qui isola le Silicium à l'état cristallisé.

Il existe plusieurs procédés pour obtenir du Silicium.

L'un d'eux consiste à chauffer, dans un creuset, du Sodium avec du verre bien pur (ce verre n'est autre que de la silice).

Il se forme alors du silicium libre et du Silicate de soude.

Pour la fabrication industrielle des aciers spéciaux au silicium on prépare d'abord au four électrique ce que les métallurgistes appellent les « *Ferro-silicium* ». Le ferro-silicium est incorporé ensuite dans l'addition finale de l'Acier Martin.

Propriétés générales que donne le Silicium incorporé à l'Acier. — Il est important de se rappeler que le Silicium confère à l'acier des propriétés d'élasticité remarquables.

Utilisation des aciers au Silicium. — Comme le lecteur l'a déjà deviné, l'on utilisera avec succès les aciers spéciaux au Silicium dans la fabrication des ressorts, puisque ces derniers doivent être élastiques, par définition.

(1) Les personnes que la question peut intéresser trouveront dans le « *Formula* » (Edition Lavauzelle, 1918) des explications très simples sur la Théorie atomique. Le « *Formula* » contient des notions sur sept sciences différentes. Il a été écrit par le même auteur que le présent livre.

En matière de construction automobile, où l'on a intérêt à employer de très bons ressorts, l'emploi des aciers spéciaux au silicium s'impose.

Dans les premiers temps les ressorts des voitures-automobiles donnaient souvent des déboires : des lames cassaient... C'est que l'idée naturelle avait été d'utiliser les mêmes aciers que ceux employés pour les véhicules hippomobiles, on avait négligé un seul petit facteur... la vitesse !

Or, cette dernière amplifie les chocs et même terriblement, nous en appelons à ceux de nos lecteurs qui ont traversé des caniveaux... sur une automobile se déplaçant rapidement.

Ils ont alors éprouvé l'impression quelque fois bien désagréable du « coup de raquette » qui fait réfléchir au travail simultané et instantané fourni par les ressorts. Ils doivent donc être faits en aciers spéciaux. Ceux au silicium conviennent comme nous l'avons déjà vu. = Les aciers au Silicium sont également employés avec succès pour la fabrication de certains « aciers-rapides », (Outillage).

Aciers spéciaux mangano-siliceux

Les aciers spéciaux qui contiennent du Manganèse et du Silicium bénéficient des qualités que ces deux éléments apportent respectivement.

Les qualités d'élasticité dues au Silicium et de grande résistance dues au Manganèse se rencontrent à la fois dans les aciers Mangano-Siliceux.

On s'en sert avec succès pour la fabrication des ressorts de qualité extra.

Aciers spéciaux au Molybdène

Le Molybdène est un métal blanc qui est fragile et fond très difficilement.

Il a été découvert en 1782, par le chimiste suédois, *Hjelm* qui l'a extrait du Sulfure de Molybdène.

Son symbole chimique est *Mo* correspondant à un poids atomique de 96 grammes.

Etat naturel. — Dans la nature le Molybdène se rencontre allié au Plomb (*Molybdate de plomb*) ou allié au soufre (*Sulfure naturel de Molybdène*).

Utilisation industrielle. — Afin d'effectuer l'incorporation de ce métal dans l'acier correspondant on prépare au four électrique le « *Ferro-molybdène* » qui servira ensuite à fabriquer l'acier spécial au molybdène.

Propriétés générales données à l'acier par l'incorporation du Molybdène. — Le Molybdène confère à l'acier une grande résistance à la rupture et augmente l'élasticité.

Utilisation des aciers au molybdène. — On fabrique des outils en « aciers-rapides » avec les aciers au Molybdène.

Le Molybdène réussit également très bien allié au Chrome et au Nickel, il existe d'ailleurs des aciers spéciaux : Molybdène-Chrome, Molybdène-Nickel au Molybdène-Chrome-Nickel.

Ces aciers sont utilisés pour la fabrication de certains obus ainsi que pour celle de blindages à haute-résistance.

L'emploi des Aciers spéciaux au Molybdène a été surtout vulgarisé pendant ces dernières années par l'outillage

Les « *Aciers rapides* » correspondants, sont bien connus des personnes qui ont eu notamment, à s'occuper de fabrications mécaniques intensives.

Aciers spéciaux au Tungstène

Le Tungstène a été découvert en 1780 par le chimiste Scheele.

C'est un métal très lourd, de couleur gris foncé. Son symbole chimique est *Tu* et son poids atomique est représenté par 183 gr. 6. Sa densité est de 17,2.

Etat naturel. — On trouve le Tungstène dans la nature : soit sous forme de Tungstate de Manganèse et de Fer ou « *Wolfram* », soit sous forme de Tungstate de Calcium ou « *Scheelite* ».

Forme d'emploi industriel. — Le Tungstène est employé industriellement sous forme d'alliage avec le fer. C'est le « *ferro-Tungstène* » que l'on obtient au four électrique.

Utilisations diverses du Tungstène. — Le Tungstène permet d'obtenir des *aciers rapides très durs servant à la fabrication d'outils à grand rendement*. (Acier diabolique : « *Satan* » de Firminy). Ces outils présentent une très grande résistance mécanique et notamment une ténacité remarquable.

Enfin nous terminerons en citant *l'emploi des aciers au Tungstène pour la fabrication d'excellents aimants permanents*, dont il est fait un très grand emploi pour les *Inducteurs* des petites machines « *Magnétos électriques* » servant à l'allumage des moteurs d'essence.

Aciers spéciaux au Titane

Quelques mots sur le Titane. — Le titane est un métal noir que les chimistes rapprochent de l'*Etain* en raison de ses propriétés.

Son *poids atomique* est de 50 et son symbole chimique est : *Ti*.

Sa densité est de 4,8. Il est extrêmement dur.

On connaît de nombreux corps naturels qui renferment du Titane. On le trouve, notamment, à l'état d'*oxyde* dans un minéral qui s'appelle « *le rutile* ». On le rencontre également allié au fer (« *fer titané* »).

Une méthode de préparation du Titane consiste à opérer la réduction d'un oxyde de Titane par le charbon. (C'est la méthode du four électrique Moissan).

Nous terminerons ces notions succinctes sur le Titane en signalant la propriété qu'il possède de s'unir à l'*Azote* pour donner des *Azotures de Titane*.

Cette propriété est très importante comme on va le voir dans l'action

bienfaisante que le Titane exerce sur l'acier dans lequel les Métallurgistes l'incorporent.

Propriétés générales données à l'Acier par l'incorporation du Titane. — Le Titane joue le rôle de purificateur du bain d'acier,

Quand on incorpore dans le bain de métal le « *Ferro-Titane* », ce dernier métal s'empare aussitôt de l'*Azote* en vertu de son affinité pour ce gaz, puis il s'allie avec l'*Hydrogène* et joue vis-à-vis des *Oxydes* contenus dans le métal encore impur le même rôle bienfaisant que le *Manganèse*.

Les gaz qui au moment de la coulée *ont des tendances à rester dans les lingots où ils forment de dangereuses cavités ou soufflures sont absorbés par le Titane.*

L'acier devient beaucoup plus sain, plus homogène.

En plus de son rôle purificateur le *Titane augmente la dureté* de l'acier.

Utilisation industrielle des aciers au Titane. — Les aciers au Titane sont surtout connus en France comme « aciers-rapides » pour la fabrication d'outils à grand rendement.

Les Américains les emploient de plus en matière de construction automobile et de Chemins de fer.

Aciers spéciaux à l'Uranium

Quelques mots sur l'Uranium lui-même. — L'Uranium a été découvert par le chimiste français Melchior Péligot (1812-1890) qui notamment fit des travaux célèbres en matière de Chimie agricole.

L'Uranium a pour symbole chimique la lettre U qui représente un poids atomique de 240 grammes.

Ce métal qui a l'aspect extérieur du Nickel est lourd, il a comme densité 18,6.

L'Uranium s'extrait d'un minerai que l'on appelle la « *pechblende* » ou « *pechurane* ».

C'est l'oxyde d'Uranium (U^4O^8) qui a été rendu célèbre par la découverte du Radium à la suite des travaux de Curie et de Madame Curie.

Les gisements les plus connus de « *pechblende* » sont en Bohême mais il y en a aussi en Angleterre.

Chose intéressante, tous les sels dérivés de l'Uranium donnent de belles couleurs fluorescentes et émettent des radiations particulières.

Ce sont les fameux *Rayons uraniques* du physicien français Becquerel.

Pour préparer l'Uranium dans les laboratoires de chimie on fait subir à la *Pechblende* un traitement approprié.

On la transforme en *Azotate d'Uranium* d'abord puis en *Sexquioxyle d'Uranium*. Ensuite on réduit le sexquioxyle pour séparer l'oxygène de l'Uranium et l'on obtient l'Uranium libre.

Production industrielle des « Ferro-uranium ». — Nous avons vu que l'Uranium était en principe *lié au radium*.

Industriellement, on considère que l'oxyde d'Uranium est un sous-produit de la fabrication du Radium qui, lui, est le produit principal.

Avec l'oxyde d'Uranium on fabrique les « *Ferro-uranium* » que l'on incorpore dans l'acier.

Influence de l'Uranium sur l'acier. — Les aciers à l'Uranium sont assez peu connus en France.

Des essais et des fabrications d'artillerie entreprises à l'étranger, il semblerait résulter que l'Uranium doit, quand il est incorporé à l'acier, augmenter la résistance à la traction et diminuer la fragilité.

Il est probable que dans un avenir peu éloigné, on pourra avoir par l'Amérique sur les *Aciers à l'Uranium* des renseignements plus amples. Ils nous permettront alors de compléter cette documentation sur ces aciers très spéciaux dont la fabrication peut jusqu'ici être considérée comme ayant été tenue secrète.

Aciers spéciaux au Vanadium (1)

Quelques mots sur le Vanadium lui-même. — Pendant longtemps les chimistes ont confondu le « *Vanadium* » avec des corps qui n'en étaient que des dérivés.

Nous citerons notamment la combinaison de ce métal (dont le symbole chimique est *Va*) avec l'Azote (*Az*) qui n'est autre que l'« *Azoture de Vanadium* » (*Va, Az*) et sa combinaison avec l'Oxygène (*O*) qui est l'« *Oxyde de Vanadium* » (*VaO*) également connu sous le nom de « *Vanadyle* ».

La découverte du Vanadium proprement dit date de 1801.

Ce corps est de couleur blanche, sa densité est de 5,5 et son poids atomique (2) est de 51 gr. 3.

La valeur 51,3 du poids atomique indique dans les combinaisons du Vanadium avec d'autres corps, qu'il entre toujours 51 gr. 3 (ou un multiple de ce poids) de ce métal.

Il reste *implicitement entendu* que l'unité de poids « *le gramme* » que nous prenons ici pour fixer les idées, sera également employée quand on exprimera les poids des autres corps rentrant en combinaison avec le Vanadium ou pour tout autre corps dont le poids atomique *sera exprimé initialement en grammes*.

Un exemple fixera les idées : nous avons tout à l'heure parlé du « *Vanadyle* » (oxyde de Vanadium).

La formule chimique de ce corps est *VaO*, comme nous l'avons déjà dit. Mais le poids atomique de l'Oxygène est de 16 grammes et le poids atomique du Vanadium est de 51 gr. 3.

Alors la formule : *VaO* du « *Vanadyle* » indique que pour

(1) Le mot « *Vanadium* » a pour origine le nom de la déesse suédoise « *Vanadé* ».

(2) Le lecteur qui désire se documenter d'une façon très simple sur le *mécanisme de la théorie atomique*, trouvera à ce sujet des explications compréhensibles pour tous, dans la partie chimique du « *Formulaire* », livre du même auteur contenant des notions de 7 sciences différentes — (Edition Lavauzelle) (1918).

51 gr. 3 de Vanadium (Va) il entre dans ce corps composé 16 grammes d'oxygène (O).

Nous avons pris *comme unité de poids le gramme*, nous le répétons, mais si nous avions pris le milligramme (ou toute autre unité) nous aurions pu également définir les proportions des composés du Vanadium par des chiffres où 51,3 nombre abstrait représenterait la proportion de Vanadium.

A côté des *Azotures et Oxydes de Vanadium* nous devons signaler au lecteur que ce métal donne également *des combinaisons avec le Chlore*.

Ces derniers composés doivent être considérés comme très importants, puisqu'ils permettent l'extraction du Vanadium. C'est la méthode de laboratoire (*Roscoë*).

Dans cette méthode il suffit de traiter le *Chlorure de Vanadium* par l'*Hydrogène* et on obtient alors du *Vanadium à l'état libre*. L'*Hydrogène* s'alliant au Chlore et libérant ainsi le Vanadium.

Minerais et gisements de Vanadium.

Le Vanadium *se rencontre fréquemment dans la nature* allié à d'autres corps.

Malheureusement, à part *les minerais industriels* que nous allons citer, on ne trouve guère dans la nature *que des traces* de ce précieux métal, soit allié à des *basaltes*, à des *argiles* ou à *des minerais*.

Les *minerais industriels* qui sont seuls dignes d'être traités pour obtenir *pratiquement* le Vanadium sont :

- 1° « *La vanadinite* ».
- 2° « *La patronite* ».

1° *La vanadinite* est une combinaison à trois éléments : *Chlore, Plomb, Vanadium*, elle est désignée par les chimistes sous le nom de « *Chlorovanadate de Plomb* ».

Il est donc à retenir que le « *Chlorovanadate de Plomb* » est un produit naturel : un minerai en un mot, qui, soumis à un traitement industriel approprié pourra donner le vanadium libre.

2° *La patronite*, autre minéral de Vanadium, est *entièrement différente de la Vanadite*, c'est un composé de soufre et de Vanadium.

Gisements. — Indépendamment des traces de Vanadium, que nous avons signalées comme universellement répandues, les gisements de Vanadium *permettant son extraction industrielle* se trouvent dans l'Amérique du Sud (notamment : *au Pérou*).

Propriétés générales que donne l'incorporation du Vanadium. —
1° *Le Vanadium est un purificateur de l'acier.* — Nous devons signaler que le *Vanadium* joue dans l'acier un rôle qui ressemble beaucoup à celui du *Manganèse* et du *Titane*. — Nous avons déjà parlé des aciers au Manganèse, il est facile au lecteur de s'y reporter.

Le rôle *bienfaisant du Vanadium* dans l'affinage de l'acier se manifeste par des propriétés réductrices *remarquables*. *Le Vanadium purifie en faisant disparaître les traces de métal oxydé qui pourraient subsister après la fabrication de l'Acier.*

2° *Le Vanadium augmente l'élasticité de l'acier.* — Il est à signaler comme *propriété très importante du Vanadium, l'augmentation d'élasticité* qu'il donne à l'acier dans lequel il est incorporé.

Déjà le lecteur peut voir combien les aciers spéciaux correspondants *vont présenter d'intérêt pour la construction automobile dont certaines parties ne peuvent comporter des aciers cassants.*

3° *Le vanadium augmente la résistance générale des aciers et diminue leur fragilité.*

Utilisation des aciers au Vanadium (1). — Les aciers au Vanadium (qui, pour beaucoup de personnes, furent une révélation quelques années

(1) *Les propriétés de grande résistance que donne le Vanadium incorporé à l'acier, l'ont également fait utiliser en matière d'Artillerie de même que le Tungstène.* Les Américains nous ont appris en septembre 1918, l'usage que les Allemands ont fait des « *ferro-alliages* » au Tungstène et au Vanadium en matière d'Artillerie puisque les *super canons* auraient été fabriqués avec des aciers comportant l'incorporation de Vanadium et de Tungstène. Si au point de vue résistance cette constatation est intéressante, *l'usage qui fut fait de ces engins restera dans l'esprit des gens réfléchis comme une inutilité au point de vue militaire, toute curiosité balistique mise à part.*

avant la guerre et au moment des derniers salons de l'automobile) ont été très vulgarisés, en Amérique par leur emploi dans la construction automobile (Automobiles Ford).

Il est d'ailleurs de toute évidence que les *aciers au Vanadium* ont un emploi tout désigné pour la construction d'appareils et de machines qui peuvent être soumis à des chocs.

En matière automobile, il existe beaucoup de parties de la voiture où les aciers moindrement cassants sont à proscrire de la façon la plus absolue.

Par exemple : les essieux, tous les organes de direction, les ressorts..... etc.

Pour ces parties vitales de la voiture on doit employer des métaux qui résistent aux chocs souvent violents.

L'acier au Vanadium qui est élastique et peu fragile répond parfaitement à ce desideratum. Cela explique sa vogue en Amérique.

Malheureusement le *Vanadium* coûte cher et il est à souhaiter que la découverte de nouveaux gisements ou l'exploitation plus intensive de ceux existants viendront, dans un avenir prochain, faire baisser le prix de ce précieux métal pour permettre d'en généraliser l'emploi.

En plus de l'utilisation de l'acier au Vanadium en matière automobile, nous devons signaler qu'en Amérique on emploie ce métal dans d'autres branches de l'activité industrielle (notamment *en matière de chemins de fer* (Pièces de locomotives... etc.)

Enfin depuis quelques années les aciers au Vanadium ont acquis une certaine célébrité dans l'outillage.

Les « *aciers-rapides* » correspondants permettent de faire travailler les machines-outils, à plein rendement, notamment pour la fabrication en série, car même avec de grandes vitesses de coupe, l'outil conserve son tranchant intact très longtemps.

Dosage du Vanadium dans l'acier

Raisons qui limitent le dosage maxima. — Le dosage du Vanadium dans l'acier est de 0,20 à 0,30 % et quelquefois un peu plus.

Dans tous les cas, le dosage maxima de ce métal dans l'acier est limité par un fait très important que nous ne pouvons laisser inaperçu.

Nous avons signalé précédemment que le Vanadium était un grand réducteur (d'où ses propriétés épuratrices), mais ce qui est bien connu aussi c'est la très grande *affinité de ce métal pour le Carbone*.

En principe : *Trop de Vanadium peut bouleverser complètement la répartition du carbone dans la masse de l'acier.*

Le métal *perd alors son homogénéité* et non seulement le bénéfice de l'incorporation du Vanadium reste illusoire, mais encore se trouve-t-on devant un *métal hétéroclite* dont une partie est constituée par de l'acier se rapprochant de l'acier doux (peu de carbone, base du lingot) et une autre partie se trouve plus chargée en carbone (partie supérieure du lingot).

Les métallurgistes doivent prendre des précautions spéciales au moment de l'introduction du Vanadium, *car nous ne pourrions mieux comparer le bain d'acier dont l'homogénéité va disparaître si l'on n'y prend garde qu'à un récipient rempli de lait qui est susceptible de « tourner »*, ce qui donne un liquide bien hétéroclite aussi... !

Il ne faut donc pas croire que l'on puisse introduire le « *Ferro-Vanadium* » dans un bain d'acier au petit bonheur.

Les métallurgistes qui l'emploient, nous le répétons, doivent prendre toutes précautions utiles *afin d'éviter la production du « Carbure de Vanadium »*.

Ce métal a le grave inconvénient, quand son dosage n'est pas bien calculé, de *pomper le carbone, de le concentrer vers la partie supérieure du bain d'acier*.

L'homogénéité n'existe plus alors *puisque le métalloïde constitutif de tout « acier » (1) n'est plus uniformément réparti dans la masse du métal*.

Aciers spéciaux au Zirconium

Quelques mots sur ce dernier métal. — Le « *Zirconium* » est un métal qui, souvent est étudié en chimie, simultanément avec son voisin

(1) C'est-à-dire : le carbone.

le « *Thorium* ». Ces deux corps ont, d'ailleurs, des points communs dans leur utilisation, comme nous le verrons tout à l'heure.

Bien que le *Zirconium* ait été découvert depuis bien longtemps (1), la partie du public qui suit le progrès en a surtout entendu parler au sujet des *Becs à Incandescence* (Bec Auer... etc.).

Les manchons constituant la partie principale des becs précités sont imprégnés d'un mélange *contenant des dérivés de Zirconium* et du *Thorium*. Ces dérivés sont des *oxydes* qui se présentent sous forme d'une poudre blanchâtre.

Etat naturel et Gisements. — On rencontre dans la nature le *Zirconium*, sous forme de *silicates*. (Gisements Américains et Russes.)

A l'aide de traitements appropriés appliqués aux minerais en question, on en chasse la *silice* et on libère l'oxyde de *Zirconium* que nous venons de citer dans son utilisation la plus vulgarisée. C'est l'*ammoniaque* qui entre dans le traitement du silicate qui permet de libérer l'oxyde de *Zirconium* dont il prend la place.

Ensuite en traitant l'oxyde de *Zirconium* pour en enlever l'oxygène, on obtient le « *Zirconium* » libre.

Qualités générales données à l'acier par le Zirconium incorporé. — Le *Zirconium* n'a pas été jusqu'ici que nous sachions utilisé en France d'une manière courante, en matière de métallurgie.

Les essais et les compte-rendus de son emploi à l'étranger ayant été tenus secrets en grande partie, il n'en a filtré que bien peu de choses.

Les résultats obtenus auraient été paraît-il remarquables au point de vue de l'*augmentation de dureté que prennent les aciers au Zirconium sous l'influence de ce dernier métal*. On l'emploierait avec succès pour les tôles protectrices contre les tirs d'artillerie notamment en Construction Navale.

— FIN —

(1) La découverte de ce corps qui est due à Klaproth, date, en effet, de 1789.

TABLE DES MATIÈRES

ÉTUDE DE LA MÉTALLURGIE DE LA FONTE DU FER ET DE L'ACIER

	Pages
PRÉFACE	V
DIVISION DE CET OUVRAGE.....	VII

PREMIÈRE PARTIE

CHAPITRE PREMIER. — <i>Les minerais de fer</i>	1
Division A. — Les minerais oxydés.....	1
— B. — Les minerais carbonatés	4
— C. — Les sulfures de fer ou pyrites.....	6
— D. — Les résidus d'usines.....	7
CHAPITRE II. — <i>Etudes préliminaires sur la teneur en carbone des fers, fonte et aciers</i>	9
Etude de la courbe des points de fusion en fonction du pourcentage de carbone	11
Renseignements complémentaires sur le carbone.....	12

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE III. — <i>Etude de la production de la fonte dans un haut-fourneau</i>	19
A. — Elimination de l'oxygène.....	20
Digression : Quelques mots sur l'oxyde de carbone et l'acide carbonique.....	20
B. — Elimination de la gangue entourant le minerai.....	23
CHAPITRE IV. — <i>Le haut-fourneau</i>	24
<i>Son but. — Quelques généralités. — Description d'un haut-fourneau. Les installations annexes</i>	24

	Pages
Son but	24
Généralités	24
Description du haut-fourneau	25
Installations annexes	26
CHAPITRE V. — Etude du fonctionnement d'un haut-fourneau	29
Entrée en matière	29
a) Etude des étages théoriques	29
b) Transformation des gaz montants	30
c) Transformation des charges descendantes ou étude de la marche descendante du minerai dans un haut-fourneau	33
d) La coulée de la fonte de première fusion	35
e) Emploi direct de la fonte des hauts-fourneaux	37
CHAPITRE VI. — Renseignements complémentaires sur les hauts-fourneaux ..	38
Manière dont on envoie le vent pour le soufflage	38
Influence de la température de l'air insufflé	40
Description schématique d'un appareil à chauffer le vent	40
Appareils Cowper	40
Appareil Whitwell	42
Appareil Bøker	42
CHAPITRE VII. — Quelques notions sur les machines soufflantes	45
Machines soufflantes horizontales	45
Machines soufflantes verticales	48
Récapitulation schématique et explications concernant la figure 9 qui donne l'indication de la marche des gaz et de l'air comprimé chauffé	49
CHAPITRE VIII. — Description d'une fonderie de première fusion avec réduction de la main-d'œuvre à minima	53
Disposition d'un monte-charge et des commandes permettant d'arriver à charger le haut-fourneau sans aucun ouvrier au gueulard	56

TROISIÈME PARTIE

CHAPITRE IX. — Etude de la fabrication du fer	61
Procédé comtois	62
Procédé anglais	64
CHAPITRE X. — Marteaux-pilons et laminoirs	69
Généralités et descriptions	69
Quelques mots sur l'usage des marteaux-pilons et la définition des « blooms »	70

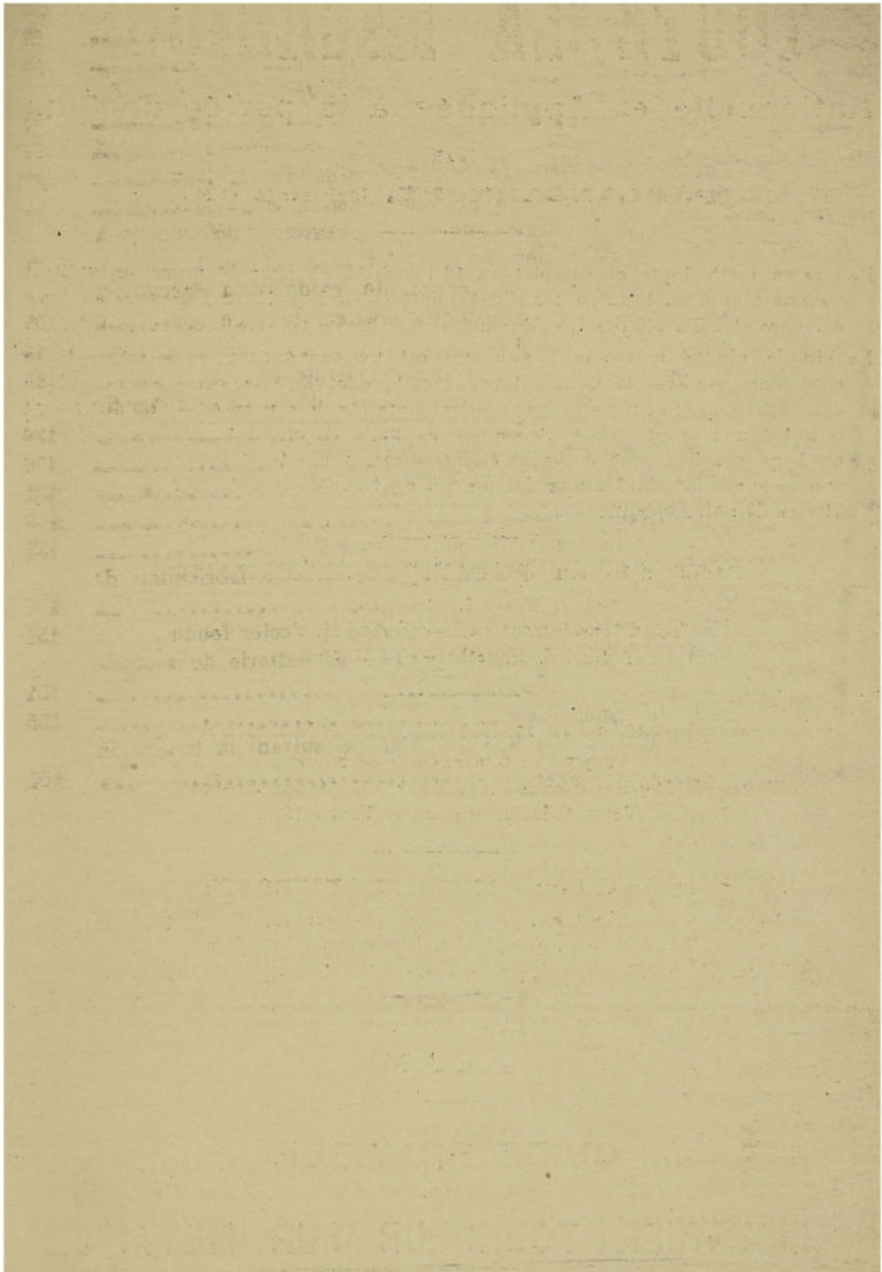
	Pages
3° Période de production des scories.....	111
4° Période de décarburation.....	111
5° Période de déphosphoration.....	112
6° Période de raffinage et de recarburation.....	112
7° Période de coulée.....	112
CHAPITRE XV. — <i>Le petit bessemerage</i>	114
Convertisseur Robert.....	115
CHAPITRE XVI. — <i>Procédé Siemens-Martin pour la fabrication de l'acier</i>	118
Avant-propos.....	118
Méthodes diverses permettant d'obtenir de l'acier au four Martin....	121
Généralités et description d'un four Martin.....	121
A. — <i>Etude du procédé Martin « aux riblons »</i>	123
1° Le chargement.....	123
2° La fusion.....	125
3° Les additions successives.....	125
4° L'addition finale.....	126
5° La coulée.....	127
B. — <i>Etude du procédé de fabrication de l'acier Martin avec le minerai et la fonte</i>	128
C. — <i>Etude du procédé de fabrication de l'acier Martin, en partant de la fonte additionnée de riblons et de minerai</i>	129
1° Le chargement.....	129
2° La fusion.....	130
3° Les additions successives.....	130
4° L'addition finale.....	131
5° La coulée.....	131
<i>Traitement des fontes phosphoreuses au four Martin</i>	131
Avant-propos.....	131
1° Le chargement.....	132
2° La fusion.....	132
3° L'affinage par additions successives.....	133
4° La déphosphoration.....	133
5° L'addition finale.....	133
6° La coulée.....	134
CHAPITRE XVII. — <i>Récapitulation générale concernant l'aciérie Martin</i>	135
Visite d'une usine métallurgique produisant de l'acier Martin.....	135
Les gazogènes.....	135
Les communications.....	139
L'épuration automatique.....	139
Le clapet de réglage des gaz (quantité).....	140
L'inverseur des gaz (direction).....	141
Marche de la colonne d'air de combustion.....	143

	Pages
Ce qu'il faut faire au point de vue de l'air de combustion.....	143
Appareil mixte de réglage et d'inversion d'air.....	143
Poche de coulée.....	145
Destination des lingots.....	145
CHAPITRE XVIII. — <i>L'acier fondu</i>	146
Quelques notions sur la fabrication de l'acier au creuset.....	146
CHAPITRE XIX. — <i>La cémentation. — Son utilisation primitive. — Cémenta- tion de l'acier</i>	154
Avant-propos.....	154
CHAPITRE XX. — <i>Concernant la classification des aciers ordinaires et l'étude générale des aciers spéciaux</i>	159
Notes préliminaires.....	159
DIVISION A : Étude générale sur les aciers ordinaires.....	162
DIVISION B : Étude générale des aciers spéciaux.....	164
Aciers spéciaux au chrome.....	167
Aciers au nickel-chrome.....	169
Aciers spéciaux au manganèse.....	170
Aciers spéciaux au silicium.....	173
Aciers spéciaux mangano-siliceux.....	174
Aciers spéciaux au molybdène.....	174
Aciers spéciaux au tungstène.....	175
Aciers spéciaux au titane.....	176
Aciers spéciaux à l'uranium.....	177
Aciers spéciaux au vanadium.....	179
Minerais et gisements de vanadium.....	180
Dosage du vanadium dans l'acier.....	182
Aciers spéciaux au zirconium.....	183

TABLE DES FIGURES

	Pages
FIGURE 1. — Courbe indiquant la variation du point de fusion des carbures de fer, suivant leur pourcentage en carbone et constatations qui en découlent	13
FIGURE 2. — Dénominations diverses des parties d'un haut-fourneau	25
FIGURE 3. — Transformations successives des charges descendantes. (Minerai, coke et fondant)	29
FIGURE 3 bis. — Transformations successives des charges descendantes (Minerai, coke et fondant)	34
FIGURE 4. — Transformations successives de la vague des gaz montants ..	31
FIGURE 5. — Chauffage de l'air insufflé dans les hauts-fourneaux. — Coupe d'un appareil Cowper	41
FIGURE 5 bis. — Schéma de la marche des gaz dans l'appareil Cowper	41
FIGURE 6. — Chauffage de l'air insufflé dans les hauts-fourneaux. — Coupe d'un appareil Whitwell	43
FIGURE 6 bis. — Schéma de la marche des gaz dans le récupérateur du système Whitwell	43
FIGURE 7. — Machine soufflante horizontale double (Elévation)	47
FIGURE 7 bis. — Machine soufflante horizontale double (vue par-dessus) ..	47
FIGURE 8. — Machine soufflante verticale (coupe schématique)	48
FIGURE 9. — Schéma récapitulatif donnant la marche des gaz résiduels d'un haut-fourneau, ainsi que la marche de l'air comprimé, qui après chauffage dans les récupérateurs est insufflé par les tuyères	50
FIGURE 10. — Coupe d'un haut-fourneau et des récupérateurs correspondants	51
FIGURE 11. — Ingénieux dispositif permettant par « <i>la manutention mécanique</i> » d'arriver à supprimer la main-d'œuvre employée sur la plateforme pour le chargement du haut-fourneau (<i>Le haut-fourneau moderne</i>) ..	55
FIGURE 12. — « Le four comtois ». — Affinage de la fonte dit « <i>au bas foyer</i> »	63
FIGURE 13. — Coupe d'un four à puddler servant à fabriquer du fer par l'affinage de la fonte (méthode anglaise)	65
FIGURE 13 bis. — Vue extérieure d'un four à puddler (méthode anglaise) ..	67
FIGURE 14. — Marteau-pilon à vapeur	70

	Pages
FIGURE 15. — Vue d'un train de laminoirs à tôles.....	72
FIGURE 16. — Convertisseur Bessemer (coupe longitudinale).....	76
FIGURE 17. — Convertisseur Bessemer (coupe verticale suivant l'axe des tourillons).....	78
FIGURE 18. — Période de coulée. — Vue d'une grue de coulée.....	89
FIGURE 19. — Coupe d'une lingotière pour couler l'acier.....	90
FIGURE 20. — Disposition générale d'une aciérie Bessemer.....	94
FIGURE 20 bis. — Coupe d'un élément de four à coke avec la défourneuse à vapeur et le silo d'emmagasinement.....	97
FIGURE 21. — Coupe d'un four permettant de produire la chaux vive destinée à la fabrication de l'acier au convertisseur basique.....	110
FIGURE 21 bis. — Convertisseur Robert.....	115
FIGURE 22. — Coupe d'un four Martin et des récupérateurs.....	122
FIGURE 23. — Description générale récapitulative d'une aciérie Martin avec sa batterie de gazogènes.....	136
FIGURE 24. — Prise hydraulique de gaz (détail).....	138
FIGURE 25. — Clapet de réglage des gaz.....	141
FIGURE 25 bis. — Inverseur des gaz.....	142
FIGURE 26. — Clapet et inverseur d'air pour le four Martin.....	144
FIGURE 27. — Coupe d'un four chauffé au coke pour la fabrication de l'acier au creuset.....	150
FIGURE 28. — Vue d'un creuset pour la fabrication de l'acier fondu.....	151
FIGURE 29. — Four à creusets chauffé au gaz avec sa batterie de récupé- rateurs.....	152
FIGURE 30. — Boîte de cémentation.....	155
FIGURE 31. — Classification des aciers ordinaires suivant la teneur en carbone %.....	164



TOUTE LA MÉCANIQUE

Rationnelle et Appliquée à la portée de tous

PAR

P. BLANCARNOUX, Ingénieur (A. et M.)

Panorama méthodique et complet en 12 tomes, dont chacun donne un élégant volume-album en beau papier (format in-8°) d'environ 150 à 200 pages en deux colonnes et 180 à 210 dessins démonstratifs. Chaque volume broché... 2 fr.

Le simple abrégé méthodique qui suit est un sûr garant de la compétence consciencieuse avec laquelle fut écrite cette encyclopédie, complète et unique dans son genre; et nous l'offrons — sans crainte de reproche — non seulement aux techniciens primaires et supérieurs, mais encore à tous ceux qui, à un bagage scientifique des plus élémentaires, veulent se documenter à bonne source sur le formidable machinisme qui continue de transformer les conditions vitales de notre époque.

PREMIÈRE PARTIE. MÉCANIQUE ÉLÉMENTAIRE

TOME I. *Statique.*

TOME II. *Cinématique.* — TOME III. *Cinétique.*

TOME IV. *Résistance des Matériaux.*

DEUXIÈME PARTIE. MACHINES A VAPEUR

TOME V. *Générateurs de vapeur.*

TOME VI. *Moteurs à vapeur.* — TOME VII. *Appareils auxiliaires.*

TOME VIII. *Chauffage et Ventilation.*

TROISIÈME PARTIE. MACHINES DIVERSES.

TOME IX. *Automoteurs thermiques.*

TOME X. *Machines hydrauliques et frigorifiques.*

TOME XI. *Outils mécaniques* — TOME XII. *Mécanique de précision.*

A D A M

GUIDE PRATIQUE

DE

L'OUVRIER TOURNEUR SUR MÉTAUX

*Approuvé par le Comité des Arts mécaniques
de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.*

Prix : 2 fr. 50