

- Manganèse*. — Blanc, devenant ensuite rose.
Protoxyde de fer. — Blanc, bleuisant à l'air.
Peroxyde de fer. — Bleu foncé.
Étain. — Blanc.
Zinc. — Blanc.
Cadmium. — Blanc.
Cobalt. — Vert d'herbe.
Nickel. — Vert-pomme.
Chrome. — Vert-gris.
Molybdène. — Brun foncé.
Vanadium. — Jaune tirant sur le vert.
Antimoine. — Blanc.
Titane. — Rouge-brun, soluble dans un excès de réactif.
Uranium. — Couleur de sang.
Bismuth. — Blanc.
Protoxyde de cuivre. — Blanc.
Bi-oxycide de cuivre. — Brun pourpré.
Plomb. — Blanc.
Bi-oxycide de mercure. — Blanc, se décomposant rapidement en bi-cyanure de mercure soluble, et protocyanure de fer qui bleuit à l'air.
Argent. — Blanc, bleuisant à l'air.
Palladium. — Olive.
Or. — Blanc.

(*) **Couleurs des précipités formés par le cyanoferride de potassium dans les dissolutions métalliques.**

- Sels de protoxyde de fer*. — Bleu.
 — *d'uranium*. — Brun rougeâtre.
 — *de titane*. — Jaune brunâtre.
 — *manganèse*. — Gris brunâtre foncé.
 — *cobalt*. — Brun rougeâtre foncé.
 — *nickel*. — Brun jaunâtre.
 — *cuivre*. — Brun jaunâtre sale.
Sels de mercure. — Jaune.
 — *d'argent*. — Jaune orangé.
 — *de bismuth*. — Brun jaunâtre.
 — *de zinc*. — Jaune orangé.

(*) SULFURES DE FER.

Le soufre a une grande affinité pour le fer : ces deux corps se combinent dans les proportions suivantes :

Sous-sulfure de fer.....	FeS;
Autre sous-sulfure.....	Fe ₂ S;
Protosulfure de fer.....	FeS;
Sesquisulfure de fer.....	Fe ₂ S ₃ ;
Bisulfure de fer (pyrite).....	FeS ₂ ;
Pyrite magnétique.....	Fe ₇ S ₈ = FeS ₂ , 6FeS = Fe ₂ S ₃ , 5FeS;
Persulfure de fer.....	FeS ₃ .

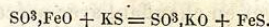
Nous ne parlerons que des sulfures les plus importants.

(*) PROTOSULFURE DE FER. Fe₂S.

Équiv. = 550 ou 44.

Ce sulfure s'obtient artificiellement en chauffant en vase clos un mélange de soufre et de fer en lames minces ; le métal se recouvre d'un corps à reflet métallique, cassant, qui est le protosulfure de fer. Il renferme presque toujours un excès de soufre qu'on lui enlève en le chauffant au feu de forge dans un creuset brasqué ; le soufre en excès se transforme en sulfure de carbone.

On peut l'obtenir à l'état d'hydrate, en précipitant un sel de protoxyde de fer par un sulfure alcalin :



Ce corps est noir, insoluble dans l'eau, soluble dans les alcalis et les sulfures alcalins ; cette dissolution est d'un beau vert.

Exposé à l'air, il absorbe l'oxygène et se transforme en sulfate de fer.

Le protosulfure de fer est assez rare dans la nature ; il se rencontre quelquefois dans les mines de houille, où sa présence occasionne souvent des accidents : il produit, en effet, en s'oxydant à l'air, assez de chaleur pour enflammer le charbon de terre ; on cite plusieurs exemples d'incendies de mines ou de masses de houille qui ont eu pour cause la présence du protosulfure de fer.

Le soufre et le fer peuvent agir l'un sur l'autre à la température ordinaire, sous l'influence de l'humidité, et donner naissance à du sulfure de fer qui est éminemment inflammable.

On obtient ce sulfure en mêlant dans un ballon 60 parties de limaille de fer, 40 parties de soufre et la quantité d'eau nécessaire pour en faire une pâte consistante ; le fer et le soufre s'unissent, et cette combinaison produit assez de chaleur pour volatiliser une partie de l'eau. Si le produit est exposé ensuite à l'air, il s'enflamme en dégageant de l'acide sulfureux et de la vapeur d'eau ; lorsqu'on le recouvre de sable, il produit quelques-uns des phénomènes apparents des volcans et projette le sable ; ce qui a fait donner à cette préparation le nom de *volcan de Lémery*, du nom de son auteur.

(*) SESQUISULFURE DE FER. Fe₂S₃.

Équiv. = 1300,0 ou 104.

On prépare ce sulfure en faisant passer, à la température de 400°, un courant d'acide sulfhydrique sur du sesqui-oxycide de fer. Le sesquisulfure de fer est d'une couleur grisâtre, tirant sur le jaune ; il n'est pas attirable par l'aimant ; quand on le

chauffe, il se décompose en dégageant du soufre et se transforme en pyrite magnétique.

On peut le préparer par voie humide, en versant un sel de sesqui-oxyde de fer dans un sulfure alcalin.

Ce sulfure se trouve dans la nature uni au protosulfure de cuivre et constitue ainsi la *pyrite de cuivre*, qui est le minéral de cuivre le plus abondant.

(*) BISULFURE DE FER. FeS^2 .

Équiv. = 750 ou 60.

Ce composé est le plus important de tous les sulfures de fer. Il porte le nom de *pyrite martiale*.

On peut le préparer en chauffant avec précaution le protosulfure de fer avec la moitié de son poids de soufre.

On l'a obtenu cristallisé en petits octaèdres d'un jaune de laiton, en mêlant de l'oxyde de fer, du soufre et du sel ammoniac, et en chauffant le mélange au bain de sable à une température assez élevée pour volatiliser le sel ammoniac (M. Wöhler).

On a pu aussi reproduire la pyrite cristallisée par des procédés galvaniques.

On produit aussi du bisulfure de fer en faisant passer de l'acide sulfhydrique sur du peroxyde de fer porté à une température qui doit dépasser 100° . Si l'on opère sur de l'oxyde de fer cristallisé, le sulfure conserve la forme cristalline de l'oxyde. Cette transformation se réalise souvent dans la nature; on l'appelle *épigénie*. Le phénomène inverse peut également se présenter; on trouve le sulfure de fer transformé en oxyde et ayant la forme de la pyrite.

Le bisulfure de fer se rencontre ordinairement cristallisé en cubes ou en dodécaèdres d'un jaune de laiton; sa densité est 4,981; il est assez dur pour faire feu au briquet.

Lorsqu'on calcine la pyrite à l'abri de l'air, elle perd une partie de son soufre et se transforme en pyrite magnétique. Grillée à l'air, elle dégage de l'acide sulfureux, et se change en peroxyde de fer. Quelques variétés de pyrites se conservent à l'air sans altération, mais d'autres s'oxydent rapidement, s'effleurissent en absorbant l'oxygène de l'air, et se transforment en sulfate de fer: $\text{FeS}^2 + \text{O}^7 = \text{SO}^3, \text{FeO} + \text{SO}^3$.

La pyrite qui s'effleurit le plus facilement est la *pyrite blanche* ou *sperkise*. Cette propriété est attribuée généralement à la présence d'une petite quantité de protosulfure ou de sesquisulfure. La forme de la pyrite blanche est le prisme droit rhomboïdal.

La pyrite n'est attaquée que par l'acide azotique, l'eau régale et l'acide sulfurique concentré et bouillant.

Les pyrites sont employées dans la fabrication de l'acide sulfurique; lorsqu'on les grille à l'air, il se dégage de l'acide sulfureux que l'on fait arriver dans les chambres de plomb, et

si la température a été assez élevée, il ne reste que du sesqui-oxyde de fer. Elles peuvent servir aussi à la préparation du soufre; par la distillation, elles se changent en pyrite magnétique en dégageant du soufre; le résidu fixe, exposé à l'air, se transforme en sulfate de fer.

(*) PYRITE MAGNÉTIQUE. Fe^7S^8 .

Équiv. = 4050 ou 324.

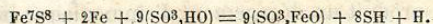
La nature présente une variété de sulfure de fer qui est attirable à l'aimant; on la nomme *pyrite magnétique*. On peut la considérer comme formée de 6 parties de protosulfure de fer unies à 1 partie de bisulfure. $\text{Fe}^7\text{S}^8 = \text{FeS}^2, 6\text{FeS} = \text{Fe}^2\text{S}^3, 5\text{FeS}$.

La pyrite magnétique est le plus stable de tous les sulfures de fer; elle peut être obtenue artificiellement par les méthodes suivantes:

1° En portant du fer au rouge blanc, et le mettant alors en contact avec du soufre: si l'on applique un canon de soufre sur une barre de fer chauffée au rouge blanc, le sulfure de fer qui se forme entre en fusion et s'écoule, la barre finit par être percée;

2° En chauffant du fer jusqu'au rouge blanc, et en introduisant le métal dans un creuset où se trouve du soufre en fusion: le sulfure de fer tombe au fond du creuset.

Le sulfure de fer préparé artificiellement sert souvent dans les laboratoires pour faire l'acide sulfhydrique; on le traite alors par l'acide sulfurique étendu; si le sulfure contient du fer libre, il se dégage un mélange d'hydrogène et d'acide sulfhydrique:



SULFATE DE PROTOXYDE DE FER. FeO, SO^3 .

Équiv. = 950 ou 75,20.

L'acide sulfurique ne se combine qu'en une seule proportion avec le protoxyde de fer; ce sulfate est neutre: on l'appelait autrefois *couperose verte*, *vitriol vert*.

Le sulfate de fer a une saveur styptique; il n'est pas vénéneux; il est soluble dans deux fois son poids d'eau froide, et dans les trois quarts de son poids d'eau bouillante. Il cristallise en prismes rhomboïdaux obliques qui contiennent 45,5 pour 100 d'eau, ou 7 équivalents.

Si le sulfate de fer cristallise à la température de 80° en présence d'un excès d'acide, il ne retient plus que 3 équivalents d'eau.

Lorsqu'on chauffe à 100° le sulfate de fer, il perd 6 équivalents d'eau, mais le septième équivalent résiste à cette tempé-

rature, et n'est expulsé que par une chaleur plus forte; le sel devient alors d'un blanc grisâtre, et reprend sa couleur verte en présence de l'eau. On obtient le sulfate de fer sous forme d'une poudre blanche cristalline, quand on verse dans sa dissolution de l'alcool ou de l'acide sulfurique concentré; ce précipité retient 4 équivalent d'eau.

Le sulfate de fer porté au rouge sombre se décompose et produit du peroxyde de fer, de l'acide sulfureux et de l'acide sulfurique anhydre : $2(\text{SO}^3, \text{FeO}) = \text{Fe}^2\text{O}^3 + \text{SO}^2 + \text{SO}^3$. Comme on n'arrive jamais, dans l'industrie, à dessécher complètement le sulfate de fer, l'acide sulfurique qui se dégage dans cette calcination retient toujours une certaine quantité d'eau. (Voir *Acide sulfurique de Nordhausen.*)

Une dissolution de sulfate de fer exposée à l'air absorbe l'oxygène, devient d'un vert foncé, et laisse bientôt déposer un sulfate de peroxyde basique, qui a pour formule : $\text{SO}^3, 2\text{Fe}^2\text{O}^3$. La liqueur retient un sel de fer, dont la base est l'oxyde de fer magnétique $\text{Fe}^2\text{O}^3, \text{FeO}$. Lorsque l'action de l'air est prolongée, le sulfate de fer peut se transformer complètement en un mélange de deux sulfates de sesqui-oxyde, l'un neutre et l'autre basique.

Tous les corps oxydants, tels que le chlore, les acides hypoazotique et azotique, transforment le sulfate de protoxyde de fer en sulfate de peroxyde.

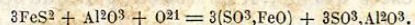
Le sulfate de fer absorbe très-facilement le bi-oxyde d'azote et se colore en brun : cette absorption a lieu généralement pour tous les sels de fer au minimum, et la quantité de gaz absorbée est telle que le protoxyde du sel de fer pourrait être transformé en sesqui-oxyde par l'oxygène du deutoxyde d'azote. Il se forme dans ce cas une combinaison peu stable, qui dégage du deutoxyde d'azote lorsqu'on la soumet à une évaporation dans le vide, et qui produit un dégagement d'ammoniaque par l'action des alcalis.

Préparation. — On peut obtenir le sulfate de protoxyde de fer en traitant le fer par l'acide sulfurique étendu :



Mais on prépare ordinairement ce sel en exposant à l'air des pyrites efflorescentes, des pyrites préalablement grillées, ou des schistes pyriteux, qui absorbent l'oxygène et se transforment en sulfate de protoxyde de fer.

Comme, dans cette oxydation, il se forme une quantité d'acide sulfurique plus que suffisante pour saturer le protoxyde de fer, l'excès d'acide se combine à l'alumine contenue dans l'argile mélangée à la pyrite, et forme du sulfate d'alumine :



Lorsque la sulfatation est complète, on reprend la masse

par l'eau, et l'on évapore la liqueur, qui laisse déposer des cristaux de sulfate de protoxyde de fer. Le sulfate d'alumine reste dans les eaux mères; il est converti en alun au moyen du sulfate de potasse ou du sulfate d'ammoniaque. (Voyez *Alun.*)

Le sulfate de fer fabriqué en grand n'est pas pur; il contient ordinairement des sels de cuivre, de zinc, de manganèse, d'alumine, de magnésie et de chaux. Pour le débarrasser du cuivre, on met dans sa dissolution des lames de fer qui précipitent le cuivre. Il est fort difficile de séparer les autres sels, qui sont presque tous isomorphes avec le sulfate de protoxyde de fer.

Usages. — Le sulfate de fer est employé pour produire l'acide sulfurique de Nordhausen et le colcothar. Il sert à monter les cuves d'indigo et à précipiter l'or de ses dissolutions; il entre dans la préparation des fonds noirs en teinture, dans celle de beaucoup de mordants et de couleurs ferrugineuses; il est employé dans la fabrication du bleu de Prusse et de l'encre. Il sert à précipiter la poudre d'or qu'on emploie dans la peinture sur porcelaine, etc.

(*) CARBONATE DE FER. FeO, CO^2 .

Équiv. = 72½ ou 58.

Le carbonate de protoxyde de fer est insoluble dans l'eau; on peut le préparer par double décomposition en traitant un sel de protoxyde de fer par un carbonate alcalin. Il est d'un blanc jaunâtre, et se transforme à l'air en hydrate de sesqui-oxyde de fer.

On peut obtenir le carbonate de protoxyde de fer en petits cristaux en chauffant à 150°, dans un tube fermé aux deux bouts, un mélange de carbonate de chaux et de protochlorure de fer, ou en décomposant, dans les mêmes circonstances, le sulfate de fer par le carbonate de soude. Des procédés analogues peuvent être appliqués à la reproduction d'un certain nombre de minéraux (M. de Sénarmont).

Le carbonate de fer est soluble dans une eau qui contient de l'acide carbonique. La plupart des eaux ferrugineuses renferment du carbonate de fer dissous dans de l'acide carbonique.

On trouve le carbonate de fer dans la nature. Il est souvent cristallisé en rhomboèdres, et porte le nom de *fer spathique*. Il est ordinairement mélangé avec des carbonates de manganèse, de magnésie et de chaux.

Le carbonate de fer est considéré comme un minéral de fer d'excellente qualité. Il se rencontre en rognons ou en amas dans les terrains houillers. Il constitue presque tous les minerais de fer que l'on exploite en Angleterre.

EXTRACTION DU FER

On donne le nom de *minerai de fer* à toute substance contenant assez de fer pour que son exploitation puisse être faite industriellement. Comme de petites quantités de phosphore, de soufre ou d'arsenic, ôtent au fer toute sa ténacité, on rejette les minerais dans lesquels le fer est uni à l'un ou à l'autre de ces corps. On exploite cependant un minerai formé d'hydrate de peroxyde de fer et de phosphate de fer; il donne des fontes phosphoreuses, et applicables à certains usages.

Les seuls minerais exploités généralement sont :

L'oxyde de fer magnétique, Fe^2O^3 ;

Le peroxyde de fer anhydre ou fer oligiste, Fe^2O^3 ;

L'hydrate de peroxyde de fer, $\text{Fe}^2\text{O}^3, \text{HO}$ (*limonite*, fer *oolithique*, ou *hématite brune*).

Le carbonate de protoxyde de fer (fer spathique ou fer carbonaté des houillères), FeO, CO^2 .

Les métallurgistes divisent les minerais de fer en deux espèces principales, les *mines terreuses* et les *mines en roches*. Les premières sont formées par de l'hydrate de peroxyde de fer; les secondes comprennent toutes les autres espèces.

Les différents minerais de fer contiennent toujours des matières étrangères, appelées *gangues*, formées principalement de silice et d'alumine en proportions variables.

On réduit toujours les minerais de fer par le charbon, en suivant deux méthodes dont nous donnerons ici le principe.

Supposons d'abord que l'on fasse cette réduction en chauffant le minerai au contact du charbon, sans ajouter aucun *fondant*; la gangue se combine avec une partie de l'oxyde de fer; il se forme ainsi des silicates basiques très-fusibles, qui s'expriment facilement sous le choc du marteau qu'on emploie pour battre la masse spongieuse du métal réduit. Cette masse s'agrége et donne du fer ductile. C'est le procédé qui est encore en usage dans les *forges catalanes*; on ne l'applique qu'à des minerais très-riches, car on perd une quantité de fer d'autant plus grande que le minerai renferme plus de gangue.

Dans le traitement des minerais ordinaires, on ajoute une base qui puisse rendre la gangue fusible; cette base est la chaux. Il se forme ainsi un silicate double d'alumine et de chaux qui est beaucoup moins fusible que le silicate d'alumine et de fer; aussi est-on obligé d'employer une température très-élevée. Le fer se combine avec une petite quantité de carbone; il passe ainsi à l'état de *fonte* et devient complètement liquide. Cette méthode, dans laquelle on opère un fondage général de la gangue et du métal réduit, porte le nom de *procédé des hauts fourneaux*.

Avant de traiter un minerai par la méthode catalane ou par celle des hauts fourneaux, on doit le soumettre à une série d'opérations qui constitue la *préparation des minerais*.

Préparation des minerais. — Les mines terreuses ne sont pas soumises au grillage; on se contente de les laver dans un courant d'eau, en les remuant à la pelle, ou au moyen d'une machine appelée *patouillet*.

Le patouillet se compose d'une caisse demi-cylindrique, dans laquelle tourne l'arbre d'une roue hydraulique; cet arbre porte des bras de fer qui agitent le minerai placé dans la caisse et soumis à l'action d'un courant d'eau continu. L'eau bourbeuse s'écoule constamment par un déversoir.

Lorsque les minerais sont en roche, on commence par les concasser au moyen de pilons mécaniques qu'on nomme des *bocards*, de là le nom de *bocardage* donné à l'opération. Dans quelques pays on soumet le minerai à une calcination qui le désagrége. Cette opération a pour but de rendre le minerai moins dur, plus poreux, plus facile à réduire, et d'expulser l'eau et l'acide carbonique qu'il renferme.

On peut exécuter le grillage en tas à l'air libre, ou dans des enceintes de maçonnerie, ou bien dans des fours à cuisson continue semblables aux fours à chaux.

MÉTHODE CATALANE.

La méthode catalane a pour résultat de donner immédiatement du fer malléable, sans passer par la fonte.

Quand on ajoute des minerais très-manganésifères dans le foyer, les scories deviennent riches en manganèse, pauvres en fer, et il se produit de l'acier naturel en proportion très-notable.

Le minerai n'est soumis à la réduction qu'après avoir été grillé.

Dans la méthode catalane, la silice contenue dans la gangue produit avec l'oxyde de fer un silicate de fer fusible, qui constitue les scories. On perd ainsi une grande quantité d'oxyde de fer, et 100 parties de minerai donnent en moyenne 33 pour 100 de fer métallique.

Les fourneaux dans lesquels s'opère la réduction sont des creusets rectangulaires; les parois sont revêtues de plaques de fonte épaisses, et le fond est formé d'une pierre de grès réfractaire (*fig. 108*).

Le combustible employé généralement dans les forges catalanes est le charbon de bois.

Pour rendre la combustion énergique, on fait arriver, au moyen d'une tuyère de cuivre *c*, un courant d'air dans le creuset.

La machine soufflante, appelée *trompe*, se compose d'un tuyau vertical A percé de trous à sa partie supérieure, dans lequel on fait arriver un courant d'eau en B qui entraîne de l'air dans sa chute; l'eau abandonne cet air dans une vaste caisse C, et s'écoule par un orifice inférieur, pendant que l'air sort par la tuyère, qui communique avec la partie supérieure de la caisse. Le combustible employé est ordinairement le charbon de bois.

On commence par introduire dans le creuset du charbon incandescent jusqu'au-dessus de la tuyère, et l'on divise le creuset en deux parties au moyen d'une pelle. D'un côté on place le mi-

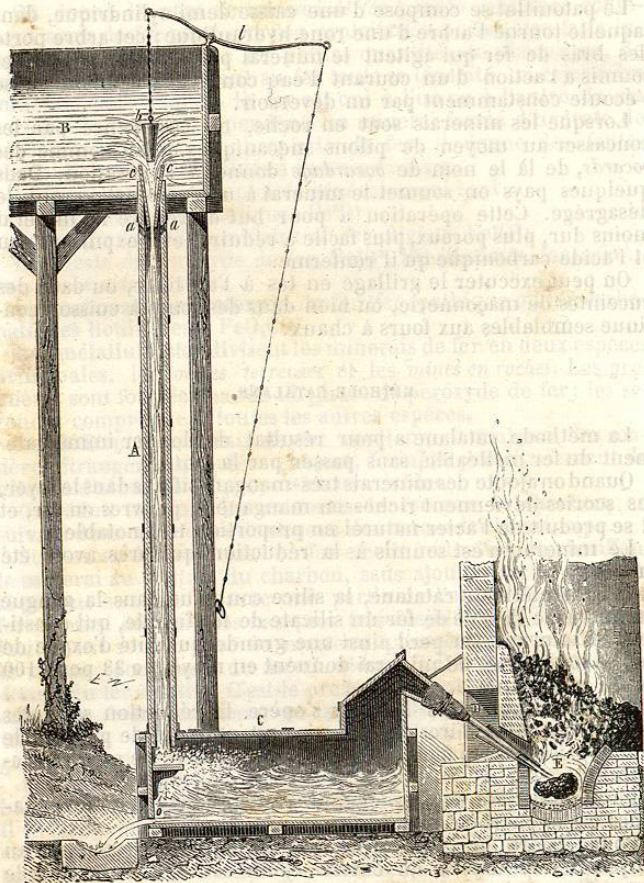


Fig. 103.

nerai, et de l'autre le charbon. Le combustible est toujours mis du côté de la tuyère. Lorsque le creuset est chargé, on retire la pelle qu'on avait placée pour empêcher le mélange du minerai et du charbon.

Lorsque le chargement est fait, on donne le vent d'abord avec précaution, et ensuite aussi fort que possible.

L'ouvrier doit alors remuer la masse avec un crochet : à un certain moment de l'opération il laisse écouler les scories, et lorsqu'il juge que la réduction est complète, il ramasse les grumeaux de fer disséminés dans la masse agglutinée, et en forme une masse appelée *loupe*, qu'il enlève et qu'il porte sous un lourd marteau mû par une roue hydraulique; les scories s'écoulent sous l'action du marteau, le métal s'agrège; on le divise au moyen de forts couteaux en *lopins*, qui sont forgés et étirés en barre.

Dans les foyers catalans, une opération dure ordinairement six heures. On traite en une seule fois environ 470 kilogrammes de minerai qui consomment 500 kilogrammes de charbon et produisent 150 kilogrammes de fer marchand.

Le procédé des forges catalanes donne du fer nerveux de bonne qualité; mais il ne peut s'appliquer qu'aux minerais très-riches. Le fer que l'on obtient ainsi est souvent mélangé de petits grains d'acier qui l'empêchent d'être laminé facilement; mais ce fer aciéreux est très-recherché pour certains usages.

Nous décrirons maintenant le procédé des hauts fourneaux dans lequel le fer est réduit en fonte, et qui permet l'exploitation des minerais même très-pauvres.

FABRICATION DE LA FONTE.

Le traitement des minerais de fer dans les hauts fourneaux exige un fondage complet : le fer réduit s'unit avec une petite quantité de carbone, et produit de la fonte qui est fusible; les différentes substances qui forment la gangue doivent elles-mêmes entrer en fusion à l'aide de fondants convenables; elles forment ainsi le *laitier*.

Lorsque la gangue d'un minerai est argileuse, on y ajoute, pour la faire entrer en fusion, une certaine quantité de carbonate de chaux que les ouvriers appellent *castine*, et qui forme avec la silice un silicate d'alumine et de chaux fusible à la température élevée du haut fourneau.

Sila gangue est calcaire, on mélange le minerai avec une matière siliceuse que l'on nomme *erbue*. Mais le plus souvent on mélange en proportion convenable le minerai calcaire avec un minerai siliceux.

Le revêtement intérieur d'un haut fourneau est construit en briques réfractaires et en pierres siliceuses pouvant supporter une température très-élevée sans entrer en fusion.

Leur forme est celle de deux troncs de cône opposés base à base, réunis au moyen d'une courbure douce, pour éviter dans l'intérieur du fourneau les angles rentrants qui nuiraient à la marche de la flamme ou à celle des minerais; souvent aussi les deux cônes sont opposés base à base, sans courbure douce au raccordement (fig. 109).

Le tirage d'un fourneau ordinaire serait tout à fait insuffisant pour produire dans le haut fourneau la température qui doit déterminer la fusion du laitier et de la fonte; on y fait arriver

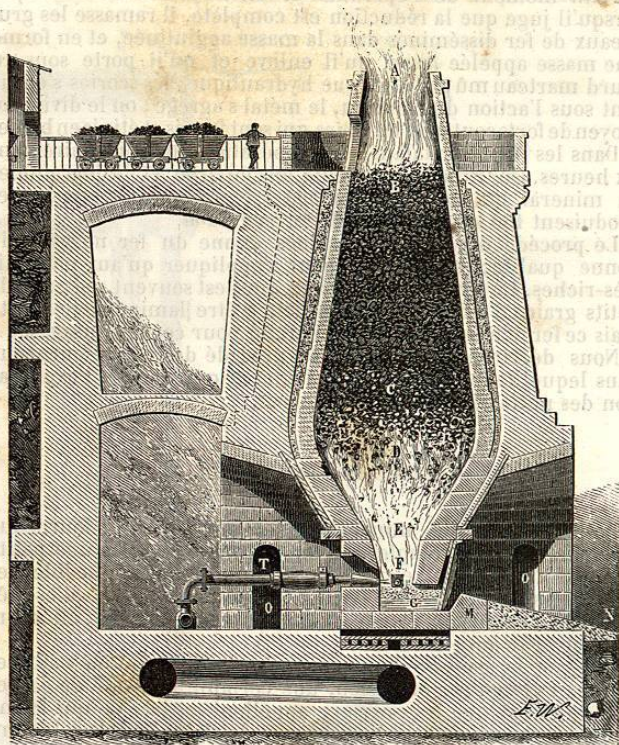


Fig. 109.

le vent d'une, deux ou trois tuyères à la fois, qui sont alimentées par une machine soufflante mue par une machine à vapeur.

Un haut fourneau se compose de différentes parties qui ont chacune un nom particulier.

On appelle *gueulard* l'ouverture supérieure du haut fourneau AB, qui est circulaire; c'est par le gueulard que se charge le fourneau, et que l'on introduit des couches alternatives de minerai, de combustible et de fondant.

La partie BC, appelée *cuve*, fait suite au gueulard.

La partie CD représente le *ventre* du fourneau.

L'espace DE est appelé l'*étalage* ou les *étalages*. C'est dans cette

partie que commencent la carburation du fer et la réduction par le charbon.

C'est dans la partie EF, qui est presque cylindrique et que l'on nomme *ouvrage*, que la température est la plus élevée.

Le charbon contenu dans l'ouvrage, se combinant à l'oxygène de l'air, se transforme en acide carbonique dans le voisinage des tuyères. Cet acide carbonique, en s'élevant, rencontre du charbon incandescent qui le ramène à l'état d'oxyde de carbone. Celui-ci arrive dans la cuve, où il trouve le minerai chauffé au rouge sombre; il le réduit en repassant à l'état d'acide carbonique (1).

Le recouvrement du creuset est soutenu par deux pièces de fonte qui portent les noms de *tympe* et de *tacret*.

La paroi antérieure du creuset est formée par une forte pierre M, qui porte le nom de *dame*.

Au-dessus de la dame est une ouverture par laquelle s'écoule constamment le laitier sur un plan incliné MN.

A côté de la dame se trouve un canal qui va du fourneau au sol de l'atelier, et qui sert à conduire la fonte lorsqu'on fait la *coulée*. Pendant la réduction, le *trou de coulée* est fermé par un tampon d'argile mélangée de poussier de charbon.

La fonte vient s'écouler dans des moules de sable, et forme une masse qui porte le nom de *gueuse*; dès que la gueuse est coulée, l'ouvrier a soin de la recouvrir de sable pour rendre le refroidissement plus lent.

La *tuyère* est l'ouverture par laquelle l'air pénètre dans le fourneau; elle se trouve au-dessus du creuset.

(1) Si l'on puise du gaz à différentes hauteurs dans le haut fourneau, comme l'a fait Ebelmen, on trouve que la colonne gazeuse qui s'élève peu à peu de la tuyère au gueulard contient de l'acide carbonique, de l'oxyde de carbone, de l'azote et de l'hydrogène provenant de la vapeur d'eau amenée par l'air des tuyères. Les proportions de ces gaz sont indiquées dans le tableau suivant :

	VOISINAGE de LA TUYÈRE.	À 0 ^m ,67 AU-DESSUS de LA TUYÈRE.	AU VENTRE.	A LA MOITIÉ de LA CUVE.	AU GUEULARD.
Acide carbonique...	8,11	0,16	0,17	0,68	7,15
Oxyde de carbone...	16,53	36,15	34,01	35,12	28,37
Hydrogène.....	0,26	0,99	1,35	1,48	2,01
Azote.....	75,10	62,70	64,47	62,72	62,47
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Les gaz qui sortent du gueulard peuvent y brûler en produisant une très-forte élévation de température. On utilise depuis quelques années cette chaleur pour chauffer l'air que l'on injecte par les tuyères. On obtient ainsi une économie de combustible. On peut utiliser également cette chaleur pour chauffer les chaudières des machines soufflantes.

La tuyère n'est pas ordinairement dans la direction de la dame MN, elle se trouve dans la direction perpendiculaire. Dans les hauts fourneaux qui ont trois tuyères, la troisième est placée dans la paroi du creuset qui est opposée à la dame (*rustine*).

On donne le nom de *buse* à l'extrémité du conduit d'air. Comme la buse doit supporter une température très-élevée, on l'entoure souvent d'une double enveloppe de fonte ou de cuivre dans laquelle circule constamment un courant d'eau froide : on peut alors l'exposer à la température du rouge blanc sans qu'elle entre en fusion.

On ne coule la fonte que toutes les douze ou vingt-quatre heures ; cet intervalle de temps varie avec la hauteur du fourneau et les dimensions du creuset.

L'enveloppe extérieure d'un haut fourneau, appelée *muraillement*, est traversée par des canaux destinés au dégagement de l'humidité, ce qui évite les fendillements dans la construction.

Le fourneau se charge par le haut ; on établit un plan incliné qui sert à monter le minerai et le combustible sur la plateforme. Souvent aussi on adosse le fourneau à une hauteur, en ayant le soin de l'isoler du terrain pour éviter les infiltrations d'eau.

On pratique en général à la partie inférieure du haut fourneau des canaux destinés à réunir et à faire écouler les eaux.

La *chemise* du fourneau est construite en pierres ou en briques très-réfractaires. Elle est séparée du muraillement extérieur par une couche de sable ou de scories qui empêche les pertes de chaleur, et permet aux parois de se dilater sans se fendre, parce qu'alors le sable se déplace.

Cette disposition donne aussi la facilité de réparer l'intérieur du fourneau sans toucher au muraillement.

Les combustibles généralement employés dans les hauts fourneaux sont le charbon de bois, le coke et le bois. On donne la préférence au coke dans toutes les localités où la houille peut être obtenue à un prix peu élevé.

La hauteur des fourneaux varie avec la nature des combustibles que l'on emploie. Elle est de 15 mètres pour les fourneaux au charbon de bois, et peut aller jusqu'à 20 mètres et souvent plus, pour les fourneaux qui sont alimentés par le coke, parce qu'il faut une température beaucoup plus forte pour fondre le laitier, qui contient un excès de chaux que l'on a ajoutée pour absorber le soufre provenant du coke.

La fonte au coke contient d'ailleurs du silicium, dû à ce que, à une très-haute température, la silice est réduite par le verre.

Lorsque le fourneau est construit, on procède à la mise en feu.

Pour le dessécher, on met d'abord du feu dans la chambre qui précède la dame. Il s'établit alors par le gueulard un tirage qui enlève une partie de l'humidité ; on attend quelques jours avant de mettre du charbon dans le creuset ; lorsqu'on pense que toute l'humidité s'est dégagée, on introduit du charbon dans le creuset, on l'allume, on emplit peu à peu l'ouvrage, et on

charge entièrement le fourneau de charbon, sans ajouter de minerai.

La dessiccation du fourneau peut durer douze à quinze jours.

Quand le fourneau est en plein feu, on ajoute à chaque charge une petite quantité de minerai que l'on augmente successivement.

Lorsque le métal paraît dans l'ouvrage, on donne le vent d'abord avec lenteur ; le courant d'air ne doit prendre toute sa vitesse qu'au bout de deux ou trois jours.

Suivons maintenant la colonne descendante formée par le minerai, le fondant et le combustible : à la partie supérieure de la cuve, le minerai se dessèche, se déshydrate ; puis, s'échauffant peu à peu, il arrive au rouge sombre dans la partie inférieure de la cuve où il est réduit par l'oxyde de carbone. Le fer ainsi réduit descend dans les étalages avec sa gangue, le fondant et le charbon. Là, sous l'influence d'une très-haute température, la gangue passe à l'état de silicate double d'alumine et de chaux, le fer à l'état de fonte. La fonte et le laitier se liquéfient complètement en traversant l'ouvrage et tombent dans le creuset, où le laitier plus léger reste à la surface ; dès qu'il déborde la dame, il s'écoule sur le plan incliné, d'où on l'enlève au fur et à mesure qu'il se solidifie. Au bout de 12 ou 24 heures, suivant la dimension du haut fourneau, le creuset est rempli ; on enlève le tampon d'argile, et la fonte coule dans de petits canaux creusés sur le sol de l'usine.

Le haut fourneau, une fois allumé, marche d'une manière continue. On ne l'arrête que pour y faire des réparations, c'est-à-dire au bout de douze à quinze mois.

La fonte obtenue dans les premières coulées est toujours de la fonte blanche, parce que la température n'est pas encore assez élevée ; ce n'est que lorsque le fourneau prend une allure régulière qu'il se forme de la fonte grise, si toutefois la nature des minerais le permet.

AFFINAGE DE LA FONTE.

La fonte est affinée dans des usines qui portent le nom de *forges*.

Le but de l'affinage est de décarburer la fonte et de transformer le silicium qu'elle contient en acide silicique, qui forme ensuite avec l'oxyde de fer du silicate de fer.

On affine la fonte par deux procédés différents :

1° L'affinage au charbon de bois qui s'opère dans de petits foyers, ou *feux d'affinerie* : on le nomme souvent *procédé com-tois* ;

2° La méthode anglaise qui s'exécute dans des fours à *puddler* chauffés à la houille.

Nous décrirons d'abord le premier procédé.

Avant de soumettre la fonte à l'affinage, on commence dans

quelques usines par la faire fondre, on la coule dans des rigoles plates, et on la brise en morceaux. Cette opération préliminaire porte le nom de *mazéage*.

Un foyer ou feu d'affinerie comtois est une cavité prismatique à base rectangulaire horizontale, limitée par quatre parois verticales formées de plaques de fonte; on y brûle du charbon de bois, et la température est assez élevée pour qu'on puisse décarburer la fonte, souder toutes les parties du métal purifié, le forger et l'étirer en barres.

L'air qui doit déterminer la combustion du charbon est introduit dans le foyer au moyen d'une ou de deux tuyères qui traversent une des parois verticales du creuset appelée *varme*.

Lorsque le foyer est rempli de charbon incandescent, on fait avancer la fonte sur des rouleaux au-dessus du foyer; elle entre en fusion et tombe au fond du creuset. La fonte est ordinairement mélangée à une certaine quantité de scories et d'oxyde de fer.

On peut diviser l'affinage en deux périodes. Dans la première, la fonte se trouve en présence de l'oxyde de fer qui la décarbure par son oxygène en se réduisant lui-même (M. Chevreul). Tous les efforts de l'ouvrier tendent donc à multiplier les contacts de la fonte et de l'oxyde de fer.

Dans la seconde période, la fonte est soulevée avec un rindard, afin de la *désorner*, c'est-à-dire de la séparer des scories ou scories qui sont adhérentes au fond ou aux angles du foyer. La fonte désornée est présentée au vent de la tuyère, qui oxyde le silicium et forme du silicate de fer. Lorsqu'elle est en partie affinée, elle retombe au fond du feu où la décarburation s'achève. Alors l'ouvrier *avale la loupe*, c'est-à-dire qu'il réunit toutes les parties de fer affiné, pour en former une loupe qu'il

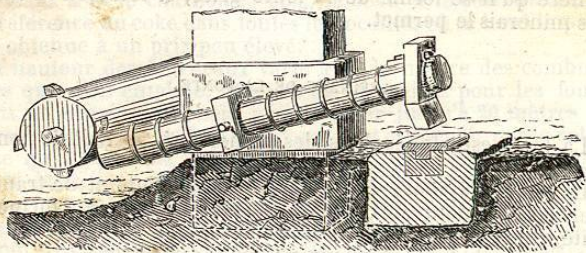


Fig. 110.

porte ensuite sous le marteau (*fig. 110*); c'est ce que l'on appelle *cingler la loupe*.

La loupe est partagée en deux *lopins*, qui sont réchauffés au rouge soudant et étirés ensuite sous le marteau en deux chauffes.

L'étirage au martinet ne se fait que pour le petit fer.

Affinage à la houille par le procédé anglais. — L'emploi du coke dans les hauts fourneaux a dû faire penser à tirer parti de ce combustible ou de la houille, dans l'affinage de la fonte. Mais cette opération ne pouvait se faire dans les foyers ordinaires d'affinage, parce que le métal en contact avec le coke se sulfure rapidement et devient cassant.

On a remplacé alors les feux d'affinage par des fours dans lesquels la fonte est chauffée par la flamme seule du combustible.

Dans ce procédé, l'affinage comprend trois opérations. La première se fait dans les *fineries*, qui ressemblent beaucoup aux foyers d'affinage; la seconde, dans un four à réverbère qui porte le nom de *four à puddler*; la troisième, dans un autre four à réverbère que l'on nomme *four à réchauffer*.

Les *fineries* (*fig. 111*) se composent d'un creuset revêtu intérieurement de plaques de fonte recouvertes d'argile et

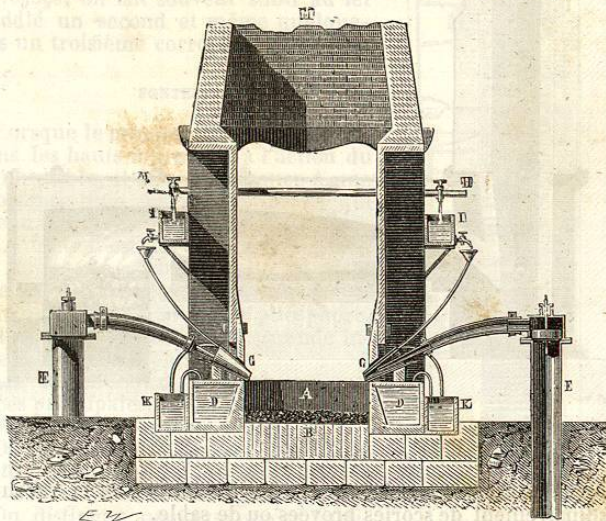


Fig. 111.

portant un trou par lequel on fait couler les scories et la fonte.

Le creuset est surmonté d'une cheminée. Deux tuyères placées presque en face l'une de l'autre amènent le vent à la surface du bain.

On introduit du coke dans le creuset sur lequel on pose 1000 à 1200 kilogrammes de fonte, et on élève assez la température pour que la fonte devienne très-liquide.