

Leur saveur est âcre et styptique. Ils sont efflorescents dans l'air sec.

Le sulfate de zinc se dissout dans 2,5 fois son poids d'eau froide.

A 100°, il se dissout dans son eau de cristallisation; souvent on utilise cette propriété, dans le commerce, pour rendre son transport plus commode : on verse le sulfate fondu dans des moules carrés.

Soumis à l'action de la chaleur, il perd à 258° son dernier équivalent d'eau de cristallisation, puis se décompose au rouge vif en acide sulfurique, acide sulfureux et oxygène; il laisse comme résidu de l'oxyde de zinc.

Le sulfate de zinc forme, avec le sulfate de potasse, un composé $2ZnO, S^2O^6 + 2KO, S^2O^6 + 6H^2O^2$ (prismes rhomboïdaux obliques).

Il est employé dans les fabriques d'indiennes. Il sert dans la peinture au blanc de zinc, pour rendre les huiles siccatives. C'est un désinfectant.

950. Caractères des sels de zinc. — Les sels de zinc sont incolores ou blancs. Leurs dissolutions, traitées par la potasse, la soude ou l'ammoniaque, donnent un précipité blanc d'hydrate d'oxyde de zinc, soluble dans un excès de réactif.

Ils ne se troublent pas par l'acide sulfhydrique, si la liqueur est acide, et ne sont précipités que très incomplètement de la liqueur neutre. Ces dernières donnent, par le sulfhydrate d'ammoniaque, un précipité blanc de sulfure de zinc caractéristique.

Les sels de zinc chauffés au chalumeau avec du carbonate de soude, sur un charbon, donnent un enduit jaune à chaud, blanc à froid. Cet enduit, mouillé avec de l'azotate de cobalt, devient vert par calcination.

GALLIUM (Ga 55. — Ga = 70).

951. Propriétés. — Ce métal, isolé en 1875 par M. Lecoq de Boisbaudran, existe dans la blende des Asturies, dans celle des Pyrénées, etc. C'est un métal blanc bleuâtre, fondant à 50°,45, et restant en surfusion. Sa densité de 24° est 5,95.

Il est caractérisé au spectroscope par deux belles raies violettes.

Il ne s'oxyde pas à l'air au-dessous du rouge. On l'obtient en décomposant par la pile une dissolution d'oxyde de gallium dans la potasse.

L'oxyde de gallium, Ga^2O^5 , est plus soluble que l'alumine dans l'ammoniaque.

Le sesquichlorure de gallium, Ga^2Cl^5 , fond à 75°,5 et bout vers 215°. Il est très déliquescents. Le sulfate de gallium forme avec le sulfate d'ammoniaque un alun de gallium qui cristallise au contact d'un cristal d'alun ordinaire.

INDIUM (In = 56,7. — In = 115,4).

951 bis. Propriétés. — L'indium a été découvert en 1865 par M. Richter. Il se rencontre dans la blende de Freiberg. Il est caractérisé par une raie intense dans le bleu foncé et une raie pâle dans le violet.

C'est un métal blanc, plus mou et plus malléable que le plomb. Il fond à 176°; sa densité est 7,4. On l'obtient en le précipitant de son sulfate par le zinc pur.

Il forme avec l'oxygène un sous-oxyde noir In^2O et un sesquioxyde jaune In^2O^5 soluble dans les acides avec lesquels il forme des sels, et d'où l'ammoniaque le précipite à l'état d'hydrate $In^2O^5, 5H_2O$.

Le sesquichlorure In^2Cl^5 forme des chlorures doubles avec les chlorures alcalins.

CHAPITRE IX

NOTIONS DE MÉTALLURGIE. — FER. — NICKEL. — COBALT. — MANGANÈSE.
CHROME. — CADMIUM. — INDIUM.

MÉTALLURGIE.

952. Minerais. — Les métaux se trouvent quelquefois à l'état natif, tels sont les métaux précieux : or, argent, platine; mais le plus souvent ils existent à l'état de combinaison soit avec l'oxygène, soit avec le soufre. On appelle *minerais* les composés naturels d'où on retire les métaux.

Pour les métaux communs, tels que le fer, on ne considère comme minerais que les oxydes ou les carbonates dont le traitement est facile et partant peu dispendieux. Pour les métaux d'une plus grande valeur, comme le cuivre, le mercure et l'argent, on exploite de plus le sulfure, dont le traitement est généralement plus pénible.

953. Traitement métallurgique. — Le minerai, au sortir de la mine, doit être soumis successivement à deux traitements : l'un, mécanique, destiné à le séparer de la plus grande partie de sa *ganque*, c'est-à-dire des matières étrangères qui l'empâtent; l'autre, chimique, destiné à en extraire le métal.

954. Traitement mécanique. — Il consiste d'abord dans le *triage*

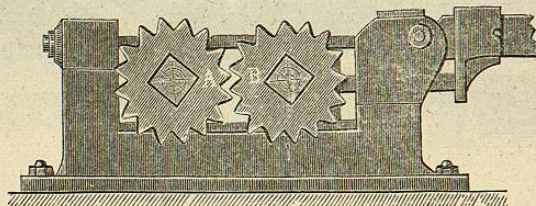


Fig. 370. — Broyage du minerai entre les cylindres.

à la main, qui partage le minerai en trois parties : la première, composée de minerai à peu près pur, est susceptible d'être envoyée à l'usine où se fera le traitement chimique; la seconde, composée à peu près uniquement de gangue, peut être immédiatement rejetée; enfin, la troisième, formée de gangue et de minerai, doit subir un broyage entre des cylindres cannelés A, B (fig. 370) qui divisent les morceaux en fragments plus petits. Un nouveau triage *mécanique* les sépare de même en trois parts.

Les derniers fragments, composés de gangue et de minerai, sont alors broyés entre des cylindres unis, puis soumis au *bocardage* ou pulvérisation dans une auge (fig. 371) à l'aide de pilons armés d'une tête en fonte b.

Le lavage de la poudre par un courant d'eau, effectué dans de grandes auges inclinées (fig. 372), produit un dernier triage, grâce à l'inégale densité du minerai et de sa gangue.

955. Traitement chimique. — 1° Quand les minerais sont formés par des oxydes, on les décompose par le charbon. On obtient ainsi le métal, ou un composé de métal et de carbone (fonte), avec lequel on

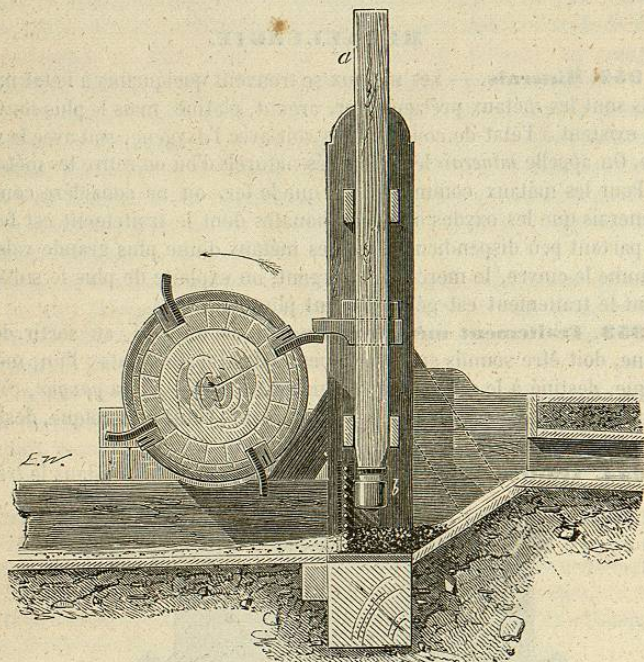


Fig. 371. — Bocardage du minerai de fer.

prépare ensuite le métal lui-même. — Si le minerai est un carbonate, on le traite de même, soit immédiatement, soit après une calcination qui chasse l'acide carbonique, désagrège le minerai, et permet de le mélanger plus facilement au charbon.

2° Les minerais formés par des sulfures sont soumis en général à des grillages, à l'air, qui leur font perdre une grande partie de leur soufre à l'état d'acide sulfureux. Le plus souvent, le métal, en se désulfurant, se combine avec l'oxygène de l'air et passe à l'état d'oxyde; on l'en extrait, comme dans le cas précédent, par le charbon.

Nous allons montrer l'application de ces règles générales dans quelques-unes des métallurgies les plus importantes.

2° art. 571. / pulverizacion.

FER.

Équiv. Fe = 28. Poids atomique Fe = 56.

956. État naturel. — Le fer est le métal le plus répandu à la surface de la terre : il entre, soit comme principe essentiel, soit comme accessoire, dans presque toutes les roches; on en trouve également des proportions appréciables dans les organes des végétaux et des animaux. Il existe à l'état métallique dans les *pierres météoriques*, où il est allié au nickel, au cobalt et au chrome, et dans certaines roches ignées (*basaltes*).

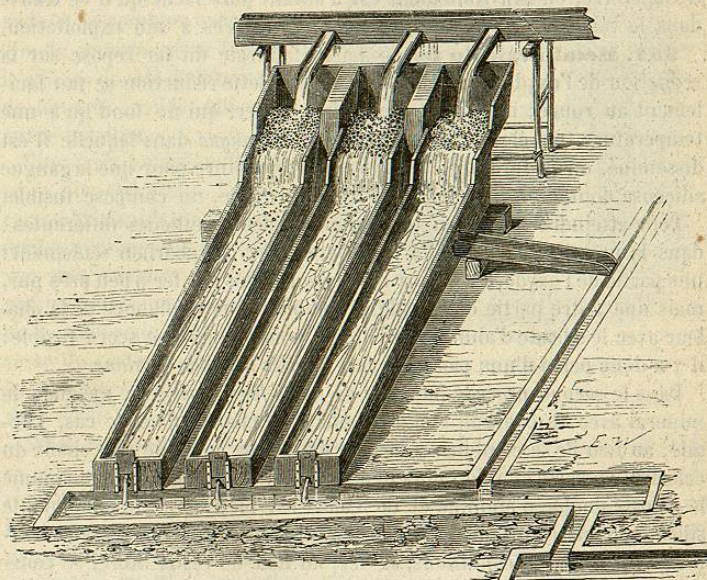


Fig. 372. — Lavage des minerais bocardés.

Les principaux composés du fer que l'on trouve dans la nature sont les oxydes, le sulfure, le carbonate, le sulfate, le phosphate et le silicate de fer.

Les minerais de fer exploités pour l'extraction du métal sont :

1° L'*oxyde de fer magnétique*, Fe^2O^4 ; il forme des montagnes entières en Suède et en Norvège, il est généralement très pur : aussi donne-t-il des fers très estimés;

2° Le *sesquioxyde de fer anhydre*, Fe^2O^3 ; il est quelquefois cristallisé en rhomboèdres très brillants, comme à l'île d'Elbe et à Framont, dans les Vosges; on le désigne alors sous le nom de *fer oligiste*; le plus souvent il est en masses amorphes, compactes et terreuses: on l'appelle, dans ce cas, *ocre rouge*, ou encore *hématite rouge*, s'il a une structure fibreuse;

3° Le *sesquioxyde de fer hydraté*, Fe^2O^3,HO , que l'on rencontre très

1° pulverizats.

abondamment en Bourgogne, en Franche-Comté, dans le Berry, etc. : il forme des masses jaunes ou brunes connues sous les noms de *limonite*, *fer oolithique*, ou *hématite brune*. Ce minerai est moins pur que les deux précédents : on doit en faire l'analyse avant de l'employer, afin de bien connaître la nature et les proportions des matières avec lesquelles il faut le mélanger pour le traitement métallurgique ;

4^e Le carbonate de fer, $2\text{FeO}, \text{C}^2\text{O}^4$, ou *fer spathique*, ou *sidérose*, que l'on rencontre à Saint-Étienne, dans les Pyrénées, et dans la plupart des mines d'Angleterre, où son traitement est d'autant plus facile qu'il se trouve dans le voisinage des mines de houille nécessaires à son exploitation.

957. Métallurgie du fer. — La métallurgie du fer repose sur la réduction de l'oxyde de fer par le charbon. Cette réduction se fait facilement au rouge ; mais pour agglomérer le fer, qui ne fond qu'à une température très élevée, et le séparer de la *gangue* dans laquelle il est disséminé, on est forcé d'élever assez la température pour que la gangue siliceuse donne, en se combinant avec un oxyde, un composé fusible.

Pour atteindre ce but, on peut employer deux méthodes différentes : dans la première, on chauffe le minerai avec du charbon seulement : une partie de l'oxyde, réduit par le charbon, donne du fer à peu près pur, mais une autre partie de l'oxyde se combine sous l'influence de la chaleur avec le silicate d'alumine de l'argile, pour former une scorie fusible : il y a donc perte d'une partie du fer. C'est la *méthode catalane*.

Dans le second procédé (*méthode de hauts fourneaux*), on mélange le minerai avec du charbon et du carbonate de chaux ; dans ce cas, l'argile, au lieu de se combiner à l'oxyde de fer, se combine à la chaux du calcaire, de sorte que l'on obtient tout le fer du minerai. Mais, comme le silicate double d'alumine et de chaux est bien moins fusible que le silicate double d'alumine et de fer, il faut élever beaucoup plus la température : dans ces conditions, le fer, au lieu de rester libre, se combine avec du charbon et passe à l'état de *fonte*. Une seconde opération devient alors nécessaire : c'est l'affinage de la fonte, qui a pour but de lui enlever son carbone et de la transformer en *fer ductile* ou *fer doux*.

958. Méthode catalane. — Cette méthode est expéditive, mais elle ne permet pas d'extraire le fer d'une manière complète ; elle n'est employée que pour des minerais très riches, et dans les pays où le bois est abondant et les transports difficiles, comme en Corse, en Catalogne et dans les Pyrénées.

Le fourneau catalan (*fig. 373*) est un creuset carré construit dans un massif en maçonnerie. On commence par le remplir de charbon de bois bien allumé, puis au-dessus on place deux tas juxtaposés, l'un de minerai, l'autre de charbon : ce dernier est d'une quantité double et disposé du côté de la tuyère. On fait arriver d'abord lentement, puis plus fort, le courant d'air d'une soufflerie, par une tuyère D, qui arrive sur l'un des bords du creuset. Le charbon, brûlant sous le vent de la tuyère,

Le creuset.

donne de l'acide carbonique qui, au contact de l'excès du charbon incandescent, se transforme en oxyde de carbone. Cet oxyde de carbone traverse le minerai, le réduit à l'état de fer métallique, en repassant lui-même à l'état d'acide carbonique. Une certaine quantité de sesquioxide de fer est ramenée seulement à l'état de protoxyde et se combine avec l'argile du minerai, pour former le silicate double d'alumine et de fer très fusible, qui constitue le laitier.

Cinq à six heures suffisent pour une opération. Le fer, rassemblé dans le creuset sous forme spongieuse, est placé sur une enclume et frappé par un marteau qui lui donne de la compacité et le débarrasse du reste du laitier ; on le chauffe ensuite de nouveau et on le forge de manière à le réduire en barres.

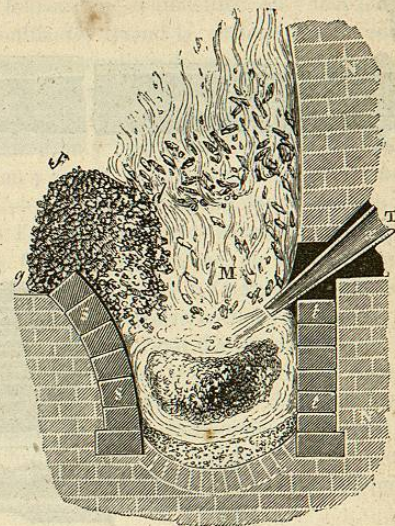


Fig. 373. — Fourneau catalan.

959. Méthode des hauts fourneaux. — Le haut fourneau (*fig. 374*) se compose de deux troncs de cône réunis par leur base ; le cône supérieur BC, appelé la *cuve*, est en briques réfractaires ; il se termine en haut par une ouverture A appelée *gueulard*, par laquelle se fait le chargement. Le gueulard, autrefois ouvert, est maintenant fermé par un couvercle métallique que l'on relève au moment du chargement. Des ouvertures latérales donnent issue aux gaz chauds, qui sont recueillis dans de gros tubes G, G' latéraux. Le cône inférieur DE, ou les *étalages*, est en pierres siliceuses, ou en *fer chromé*, infusibles. Au-dessous des étalages, on trouve un cylindre EF en pierres réfractaires, nommé l'*ouvrage*, dans la partie inférieure duquel viennent déboucher les trois tuyères d'une forte machine soufflante. Au-dessous de l'ouvrage se trouve le *creuset*, qui se termine antérieurement par une paroi nommée *dame*, devant laquelle existe un plan incliné. Le creuset est percé inférieurement d'un *trou de coulée* qui, pendant l'opération, est bouché par un tampon d'argile.

La hauteur totale d'un haut fourneau est d'environ 10 mètres, quand il est alimenté par du charbon de bois ; elle doit être plus considérable et peut s'élever jusqu'à 15 et 18 mètres, quand il est alimenté par du coke, parce qu'il faut une température beaucoup plus haute pour fondre

Le creuset. 2 yunique.

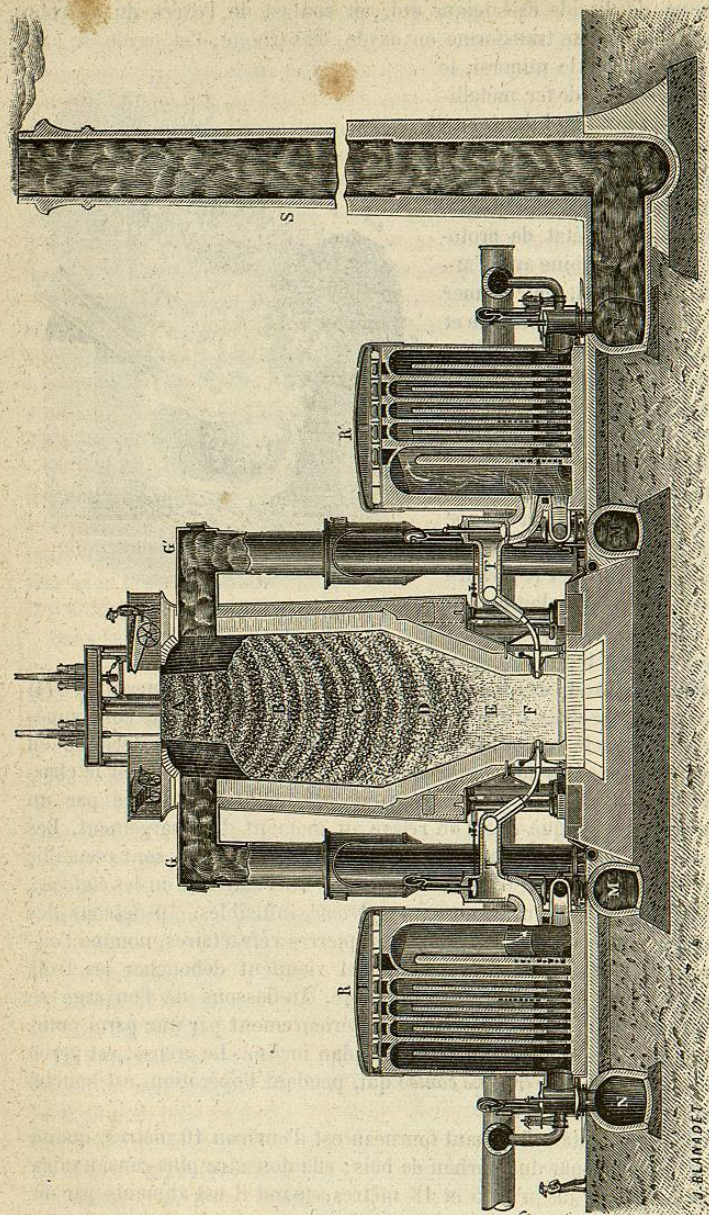


Fig. 574. — Haut fourneau avec récupérateurs de chaleur (appareils Whitwell).

le laitier qui contient un excès de chaux, nécessaire pour retenir le soufre provenant du coke.

On remplit d'abord le haut fourneau de combustible, on y met le feu et on fait jouer la machine soufflante. Quand la chaleur est devenue assez forte, on ajoute des charges alternatives de *minerai*, de *fondant* et de *charbon*. La nature du fondant dépend de la composition de la gangue, qui a dû être déterminée par un essai préliminaire. Si la gangue est siliceuse, et c'est le cas ordinaire, on y ajoute du carbonate de chaux (*castine*); si elle est calcaire, on y ajoute des matières siliceuses (*erbue*).

MARCHE ASCENDANTE DES GAZ. — Le charbon contenu dans l'ouvrage, se combinant avec 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. 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	A 0 ^m ,67 AU-DESSUS DE LA TUYÈRE	AU VENTRE	A LA MOITIÉ DE LA CUVE.	AU GUEULARD.
Acide carbonique.	8.11	0.17	0.17	0.68	7.15
Oxyde de carbone.	16.55	54.01	54.01	55.12	25.57
Hydrogène.	0.26	1.45	1.45	1.48	2.06
Azote.	75.10	64.57	64.57	62.72	67.42

M. Cailletet a depuis aspiré, à l'aide d'un tube refroidi par de l'eau, les gaz d'un haut fourneau dans le voisinage de la tuyère, et y a constaté l'existence simultanée des gaz oxygène et oxyde de carbone, dans les parties les plus chaudes; ces gaz étaient rendus opaques par un brouillard épais, brunâtre, qui se résout, au bout d'un temps très long, en un dépôt de charbon très divisé, dû à la dissociation de l'oxyde de carbone.

Les gaz qui arrivent au gueulard, et que l'on recueille par les ouvertures latérales G et G', sont combustibles; ils brûlent en produisant une très forte élévation de température. On utilise, depuis quelques années, cette chaleur pour échauffer dans des fours convenables (*récupérateurs*) l'air que l'on doit injecter par les tuyères. On obtient ainsi une écono-

mie de combustible, une marche plus régulière et une augmentation dans la production journalière du haut fourneau.

RÉCUPÉRATEURS WHITWALL. — Les appareils *recupérateurs* dans lesquels l'air à insuffler reprend la chaleur emmagasinée dans des matières réfractaires (système Siemens) se composent de grands cylindres ou tours en tôle R, R', doublés intérieurement d'une enveloppe en briques réfractaires et divisés en plusieurs compartiments, au moyen de cloisons planes également en briques réfractaires. Les gaz combustibles chauds provenant du gueulard, arrivent dans le premier compartiment du récupérateur R'; on y fait entrer en même temps une quantité d'air convenable, de sorte que ce premier compartiment est devenu une véritable chambre de combustion, et la flamme, qui s'y produit, circule de haut en bas et de bas en haut, en parcourant les autres compartiments et léchant dans toute leur hauteur les cloisons qui les séparent, pour se diriger ensuite dans une cheminée d'appel ayant un tirage assez actif.

Au bout d'une heure ou deux, toute la masse des matériaux réfractaires ayant emmagasiné une grande partie de la chaleur dégagée dans la combustion des gaz venus du gueulard, se trouve portée au rouge. On ferme alors les communications avec les gaz combustibles, l'air ambiant et la cheminée, on ouvre une tubulure par laquelle pénètre le vent d'une machine soufflante. Ce vent parcourt, comme dans R, en sens inverse, le chemin qu'avaient parcouru les gaz du haut fourneau; il reprend aux parois réfractaires la chaleur qu'elles ont absorbée; le vent rencontre dans son trajet, des parois de plus en plus chaudes et arrive, chauffé à la température du rouge, aux tuyères du haut fourneau. La température des masses réfractaires diminue peu à peu à mesure que le passage du vent se prolonge; quand la température est assez abaissée, on arrête le chauffage du vent, et on recommence le passage des gaz et le réchauffement de l'appareil. Celui-ci fonctionne donc par périodes alternatives; il est tour à tour au *gaz* et au *vent*.

MARCHE DESCENDANTE DES SOLIDES. — 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, 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 la 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 demi-cylindriques creusés sur le sol de l'usine. La fonte se solidifie, et se présente sous forme de demi-cylindres que l'on appelle *gucuses* ou *gucusets*, suivant leur longueur.

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, en général, au bout de douze à quinze mois.

La fonte au coke contient du silicium, dû à ce qu'à une très haute température, la silice est réduite par la fonte. Les fontes au bois n'en contiennent jamais que de très petites quantités.

La fonte peut être convertie en fer doux, ou utilisée dans l'industrie pour des usages tout différents de ceux du fer.

960. Fontes. — Les fontes sont des carbures de fer; elles sont formées d'environ 95 pour 100 de fer, de 2 à 5 de carbone, et de quelques autres matières telles que silicium, phosphore, azote, soufre et manganèse. Leurs propriétés varient avec leur composition, et avec l'état sous lequel s'y trouve le carbone, qui peut être tout entier à l'état de combinaison ou partiellement à l'état de mélange.

Les diverses variétés de fontes peuvent se ramener à deux types: la *fonte grise* et la *fonte blanche*.

La *fonte grise* a une couleur qui varie du gris noir au gris clair; sa densité varie de 6,79 à 7,05; elle fond à 1200° et devient très fluide, ce qui la rend propre au moulage. Elle est douce, grenue, se laisse limer, tourner et forer avec facilité.

La *fonte blanche* a une couleur argentine; sa cassure est brillante. Sa densité varie de 7,44 à 7,84. Elle fond entre 1050° et 1100°, mais elle reste toujours pâteuse. On ne peut l'utiliser pour le moulage; on l'emploie spécialement pour la fabrication du fer et de l'acier. La fonte blanche est toujours dure, lamelleuse et cassante; elle se laisse difficilement attaquer par la lime, et se brise sous le choc.

961. Production de la fonte grise et de la fonte blanche.

— Bien que la composition de ces deux fontes ne soit généralement pas la même, et que la fonte grise soit d'ordinaire plus riche en silicium que la fonte blanche, un même haut fourneau peut donner, avec le même minerai, le même fondant et le même combustible, soit l'une, soit l'autre fonte; tout dépend dans ce cas de la température à laquelle se fait la réduction. Si elle se fait à une température très élevée, on aura de la fonte grise, riche en silicium, par suite de l'action de la fonte sur la silice du laitier à haute température. Quand, au contraire, la température à laquelle se fait la réduction n'est pas très élevée, on obtient toujours de la fonte blanche qui contient beaucoup moins de silicium.

Le carbone n'existe pas non plus au même état dans les deux fontes. Dans la fonte blanche, il est tout entier combiné au fer. Dans la fonte grise, le carbone est en partie disséminé à l'état de graphite dans toute

1900.