

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. Ce procédé a pris naissance en Angleterre, où la houille et le coke sont les seuls combustibles dont on puisse disposer. Mais cette opération ne pouvait se faire dans les foyers ordinaires d'affinage, parce que le métal en contact prolongé avec le coke se sulfure 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 deux 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*.

Les *fineries* (fig. 44) se composent d'un creuset revêtu intérieurement de plaques de fonte recouvertes d'argile et 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.

Sous l'influence du vent des tuyères, la fonte

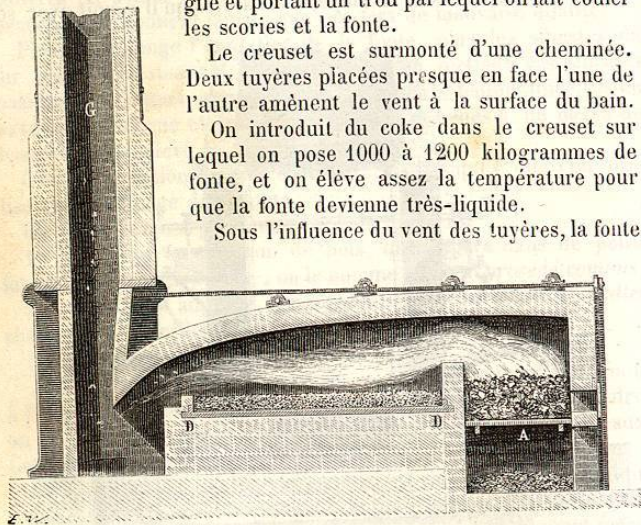


Fig. 45.

s'oxyde et peu à peu se recouvre d'une scorie plus légère que ce métal. Cette scorie renferme la majeure partie du silicium et des métaux étrangers à la fonte avec un peu d'oxyde de fer.

Au bout d'une heure et demie environ, on coule la fonte dans un bassin large et peu profond, et on la refroidit avec de l'eau pour qu'elle devienne cassante. On obtient ainsi le *fine métal*.

Pour décarburer complètement la fonte, on la chauffe ensuite dans le four à *puddler* en la brassant continuellement avec des scories riches en fer et des battitures; cette opération a pour but de

faire réagir l'oxyde de fer sur la fonte afin de brûler complètement le carbone qu'elle contient.

La sole du four à *puddler* (fig. 45) est légèrement inclinée: elle est faite en briques très-réfractaires; on la recouvre ordinairement de scories broyées ou de sable.

A mesure que l'opération avance, on voit la fonte prendre une consistance de plus en plus pâteuse; on dit dans ce cas qu'elle *prend nature*; elle dégage de l'oxyde de carbone; lorsque la décarburation est opérée, on porte la température au blanc soudant: on forme avec le fer une *balle* ou *loupe* que l'on porte d'abord sous les *cylindres dégrossisseurs* (fig. 46).

Les cylindres sont cannelés et présentent des rainures dont la section diminue successivement. On introduit le fer cinq ou six fois entre les cannelures, en suivant leur ordre de décroissement *a, b, c*; on réduit ainsi le fer en barres ordinairement méplates. La pression exercée par les cylindres est si énergique, que les scories jaillissent avec force, et que le fer se laisse comprimer en quelque sorte comme une éponge.

Après le travail de l'affinage, on retrouve dans les scories le silicium, le phosphore, le soufre qui existaient primitivement dans la fonte.

Pour terminer l'affinage du fer, on le coupe lorsqu'il est encore rouge; on en forme des paquets que l'on porte au blanc soudant dans le *four à réchauffer*, et que l'on soumet de nouveau à l'action des cylindres, dont les cannelures vont en diminuant progressivement, et varient de forme suivant celle des échantillons que l'on veut obtenir. Cette opération porte le nom de *corroyage*; on fait souvent subir au fer puddlé un second et même un troisième corroyage.

Aciers.

On donne le nom d'*acier* à une combinaison de fer et de carbone, dans laquelle la proportion de carbone ne dépasse jamais un centième. L'acier

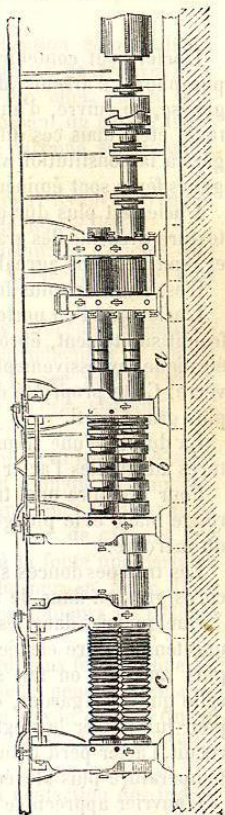


Fig. 46

contient plus de charbon que le fer du commerce et moins que la fonte.

Voici la composition de quelques aciers :

	Anglais, 1 ^{re} qualité.	Isère.	Français, 1 ^{re} qualité.	Français, 2 ^e qualité.
Carbone.....	0,62	0,65	0,65	0,94
Silicium.....	0,03	0,00	0,04	0,08
Phosphore.....	0,03	0,08	0,07	0,11
Fer.....	99,32	99,27	96,24	98,87
	100,00	100,00	100,00	100,00

(Gay-Lussac.)

L'acier peut contenir en outre de petites quantités d'azote, de phosphore, d'arsenic, de soufre, d'aluminium, de chlore, de manganèse, de cuivre, d'antimoine, de tungstène, de vanadium, de titane, etc. ; mais ces différents corps sont considérés comme étrangers à la constitution véritable de l'acier. Les minerais de fer manganésifères sont éminemment propres à la fabrication de l'acier.

L'acier est plus dur que le fer ; il peut prendre un beau poli, sa texture présente des grains très-fins, égaux et serrés. Il est sonore et rend des sons agréables.

C'est un métal plus fusible et moins malléable que le fer.

L'acier que l'on porte à une température rouge, et que l'on refroidit subitement, éprouve le phénomène de la *trempe* ; il devient élastique, excessivement dur, très-cassant, et peut même rayer le verre. Cette propriété de l'acier est celle dont les arts tirent le plus grand parti.

La dureté d'une trempe dépend de la différence des températures auxquelles l'acier a été porté avant et après cette opération.

Pour produire une trempe très-dure, il faut porter l'acier au rouge blanc et le plonger dans de l'eau très-froide, ou mieux dans du mercure.

Les trempes douces s'obtiennent en refroidissant l'acier dans des corps gras ou dans de la résine en fusion.

Quelquefois, dans les arts, on trempe l'acier en le chauffant à une température élevée et en le refroidissant subitement. Mais, le plus souvent, on fait subir à l'acier une trempe plus forte que celle qu'il doit garder, et on le recuit à des températures variables pour lui donner le degré de dureté que l'on désire. Pendant le recuit, l'acier perd d'autant plus de dureté qu'on le chauffe à une température plus élevée.

L'ouvrier apprécie le point convenable pour le recuit, en profitant de la propriété que présente l'acier de prendre des teintes qui varient avec la température à laquelle il a été exposé.

Ces teintes sont dues à la formation d'une couche très-mince

d'oxyde de fer qui produit les phénomènes des anneaux colorés. La chaleur donne à l'acier les teintes suivantes :

A 220°, jaune clair ;

245°, jaune d'or ;

255°, brun ;

265°, pourpre ;

285 à 290°, bleuâtre ;

300°, indigo ;

320°, vert d'eau.

Les rasoirs, les canifs sont recuits au jaune ; les ciseaux, les couteaux se recuisent au brun ; les ressorts de montres, au bleu ; les ressorts de voitures, au rouge brun.

L'acier éprouve par la trempe une modification comparable à celle de la fonte. Après la trempe, le carbone ne se trouve plus dans le même état qu'avant cette opération. En effet, l'acier non trempé, traité par un acide, se dissout en laissant un résidu très-sensible de graphite ; avec l'acier trempé le carbone se dégage à l'état de carbure d'hydrogène.

La trempe fait aussi varier la densité de l'acier. Avant la trempe, la densité de l'acier est 7,738, et après elle devient 7,704.

On divise les aciers en quatre variétés principales : l'acier naturel, l'acier de cémentation, l'acier fondu, l'acier damassé, puis ensuite l'acier puddlé et l'acier corroyé.

Pour obtenir l'acier, on a recours à deux procédés complètement distincts : 1° on peut décarburer partiellement la fonte ; c'est ainsi qu'on prépare l'acier naturel et l'acier puddlé ; 2° on peut aussi carburer le fer, on a alors l'acier de cémentation.

Acier naturel. — Cet acier porte souvent aussi le nom d'acier de forge ou d'acier de fonte. On l'obtient en affinant incomplètement la fonte au contact de l'air ou sous l'influence de l'oxyde de fer qui la décarburent. La fonte contient plus de carbone que l'acier ; on comprend donc qu'en enlevant à la fonte une certaine partie de son carbone, on puisse la transformer en acier. Dans la préparation de l'acier naturel, on emploie toujours de la fonte manganésifère.

L'opération se fait dans un foyer comparable aux feux d'affinerie, contenant la fonte en fusion que l'on maintient pendant quelques heures sous une couche de scories riches en oxyde de fer. Quand l'affinage est jugé suffisant, on martèle cet acier et on le réduit en barres.

Cet acier est principalement employé à la confection des instruments aratoires.

Dans l'extraction du fer par la méthode catalane, on carbure quelquefois assez le fer pour le transformer en acier naturel.

On prépare depuis quelques années un acier qui porte le nom d'*acier puddlé*, que l'on obtient en puddlant incomplètement, dans les fours à puddler ordinaires, une fonte manganésifère de bonne qualité.

Acier de cémentation. — La cémentation est une opération dans laquelle on acièr le fer en le chauffant pendant longtemps au contact du charbon en poudre. Le fer se combine alors avec 1 centième environ de carbone, et se transforme en acier.

On se sert, pour la cémentation de caisses en terre ou en briques réfractaires, qui sont placées de telle manière dans le fourneau que la flamme les enveloppe de tous côtés. Les caisses sont remplies de couches alternatives d'une matière charbonneuse, nommée *cément*, et de barreaux de fer; les barreaux métalliques ne doivent pas se toucher. On place dans les caisses des tiges de fer nommées *épreuves*, que l'on retire de temps en temps, et dont on se sert pour apprécier les progrès de la cémentation. La température ne doit pas être assez élevée pour faire entrer l'acier en fusion. L'opération dure de 12 à 15 jours.

On a beaucoup varié d'opinion sur la nature des ciments qui conviennent le mieux pour la production de l'acier; on ajoute ordinairement au charbon une petite quantité de cendres et de sel marin.

On cimente quelquefois de petites pièces de fer par un procédé qui porte le nom de *trempe en paquets*, et qui consiste à chauffer dans des caisses de tôle de fer, de fonte ou de terre, des objets de fer avec un ciment composé de charbon, de suie, de cendres et de sel marin.

L'acier de cémentation est ordinairement recouvert d'ampoules; c'est ce qui lui fait donner dans le commerce le nom d'*acier poule*.

Lorsqu'on veut diminuer la dureté de la surface d'un acier, qu'on le destine, par exemple, au travail du burin, on le chauffe, pendant cinq ou six heures, à une chaleur blanche, dans de la limaille de fer.

Les méthodes de fabrication de l'acier de cémentation et surtout de l'acier naturel donnent rarement un acier homogène, tenace et élastique. Lorsqu'on ne veut pas, ou qu'on ne peut pas le ramener par la fusion à une homogénéité parfaite, il est nécessaire de le *corroyer* d'une manière analogue à celle qui est employée pour le fer. Cet acier prend dans le commerce le nom d'*acier corroyé*.

Acier fondu. — Cet acier est le plus homogène et le plus estimé. On l'obtient en fondant, dans des creusets brasqués, de l'acier de cémentation coupé en petites barres et recouvert de charbon. Quand l'acier est devenu liquide, on le coule dans des lingotières en fonte, puis on le martèle et on l'étire en barres. Il

est très-dur; il peut prendre un peau poli, et présente souvent la propriété précieuse de se tremper par la seule action de l'air. Nous donnons dans la figure 47 le fourneau qui sert à fondre l'acier dans des creusets d'argile réfractaire.

Acier damassé. — On donne ce nom à une variété d'acier qui se recouvre d'une espèce de moiré lorsqu'on le traite par des acides étendus: on le nomme souvent *acier Wootz* ou *acier indien*.

On obtient un acier propre au damassage en laissant refroidir lentement de l'acier riche en carbone; il se forme alors dans la masse des carbures de fer en proportions définies qui peuvent cristalliser et apparaître ensuite par l'action des acides (M. Bréant).

On a obtenu également un acier damassé comparable à l'acier Wootz, en fondant du fer de bonne qualité avec 2 centièmes de noir de fumée ou de coke. Lorsqu'on se sert de ce dernier charbon, l'acier contient en général quelques millièmes d'aluminium; on a du reste signalé la présence de ce métal dans plusieurs aciers damassés venant de l'Inde.

On forme également des aciers damassés, en alliant à l'acier ordinaire du chrome, du platine, de l'aluminium.

On a fabriqué de très-belles lames damassées en alliant à de l'acier de petites quantités de tungstène ou de molybdène (le duc de Luynes). La méthode la plus sûre pour obtenir un acier propre au damassage, consiste à fondre dans un creuset réfractaire 5 kilogrammes de fer très-pur avec 1/12 de graphite, 1/32 de battitures de fer, 1/24 de dolomie servant de flux. Pour faire apparaître le damassage, on décape l'acier avec du sulfate d'alumine. L'acier damassé ainsi préparé paraît être beaucoup plus dur que le meilleur acier fondu (M. Anocoff).

Procédé Bessemer.

La méthode métallurgique due à M. Bessemer a pour but d'obtenir directement de l'acier fondu en faisant passer un courant d'air dans la fonte liquide. La découverte capitale de M. Bessemer est d'avoir reconnu que ce courant d'air traversant une masse de fonte liquide, loin de la refroidir comme on aurait pu le croire, l'échauffe, au contraire, par suite de la combustion des corps plus oxydables que le fer qui se trouvent dans la fonte.

La disparition de ces corps se fait successivement et dans un

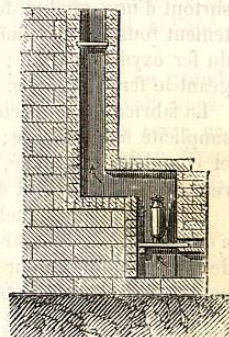


Fig. 47.

ordre qui dépend de leur oxydabilité et de leur affinité pour le fer.

Ce nouveau procédé d'affinage n'exige donc aucune consommation de charbon; les métalloïdes contenus dans la fonte sont les véritables combustibles qui, en s'oxydant, produisent la température utile à l'opération.

Lorsqu'une fonte contient les éléments de l'acier, et en outre des corps nuisibles que le courant d'air peut enlever sans détruire l'aciération, l'acier Bessemer est obtenu immédiatement, en arrêtant l'affinage au moment où les corps inutiles ont été oxydés.

Mais, dans la plupart des cas, pour produire un acier pur et surtout d'une qualité déterminée, on a intérêt à éliminer complètement tous les métalloïdes qui existent dans la fonte, à produire du fer oxydé ou brûlé; on reconstitue ensuite l'acier en mélangeant le fer fondu avec une fonte aciéreuse.

La fabrication de l'acier par la méthode Bessemer est alors d'une simplicité merveilleuse; elle revient à introduire dans du fer fondu, et complètement affiné, des quantités variables de matières aciéreuses qui se trouvent dans une fonte convenablement choisie.

L'appareil dans lequel se fait l'élaboration, et auquel M. Bessemer a donné le nom de *convertisseur* (*converter*), consiste en une sorte de cubilot mobile autour d'un axe horizontal formé de plaques de tôle boulonnées et garni intérieurement de terre réfractaire (fig. 48).

Le fond de ce cubilot porte une plaque de fonte trouée, destinée

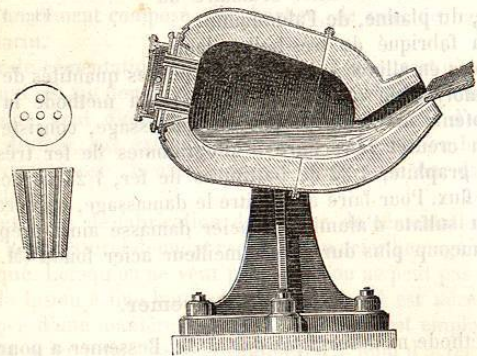


Fig. 48.

à laisser passer les tuyères qui y sont vissées par leur partie inférieure, et qui viennent déboucher au fond du vase, en restant entourées de lut réfractaire. Au-dessous des tuyères se trouve un cylindre métallique, fermé par une plaque de fonte clavetée, de même dimension que celle qui supporte les tuyères : l'air y est

amené par un tuyau qui permet aux tuyères de conserver leur activité, quelle que soit la position de l'appareil. Le dôme porte une ouverture par laquelle s'échappent les étincelles.

La manœuvre de l'appareil est faite au moyen d'engrenages mus à la main, ou à l'aide de machines. La cornue est d'abord remplie de charbons allumés, dont on entretient la combustion très-active, jusqu'à ce que l'intérieur de la cornue ait acquis une température très-élevée. On renverse alors l'appareil pour le débarrasser du charbon qu'il contient; puis, en lui donnant la position qui est indiquée dans la figure 48, où son axe est horizontal, on y fait arriver la fonte par une conduite; on donne au vent toute sa force, on relève l'appareil dans la position de l'axe vertical, et l'opération commence.

La première impression de l'air sur la fonte produit un grand nombre d'étincelles : au bout de quelques minutes, on voit apparaître une flamme assez courte, rougeâtre, qui va sans cesse en croissant et en s'éclaircissant pendant la durée de l'opération. Avec quelque habitude, on trouve dans cette flamme des indications précieuses pour la conduite de l'opération.

On peut, comme en Suède, arrêter la soufflerie, et par conséquent l'oxydation du métal, lorsque la fonte est arrivée au point de transformation où elle est convertie en acier.

Mais, en général, on préfère dépasser ce point, et on continue le courant d'air jusqu'à ce que la cessation presque subite de la flamme brillante et volumineuse indique l'instant où la fonte est sur le point de se transformer en fer. On ajoute alors au métal une quantité déterminée de bonne fonte au bois manganésée, ordinairement $\frac{1}{10}$. L'appareil est relevé pendant un instant; le métal est soumis à l'action d'un courant d'air rapide qui opère le mélange de la fonte et du fer, puis versé dans une grande poche en fer. Cette poche, enduite d'argile réfractaire, est percée d'une ouverture à la partie inférieure. Cette ouverture est fermée par une soupape conique en terre réfractaire pouvant se manœuvrer facilement. On transporte, au moyen d'une grue, l'acier en fusion au-dessus des moules; on soulève la soupape, et l'acier fondu s'écoule, tout à fait exempt de scories, en un jet vertical, tombant directement au fond des moules sans en toucher les parois.

Nos fontes françaises non phosphoreuses, fabriquées au coke ou au charbon de bois, donnent des aciers excellents, lorsqu'on les traite avec intelligence dans le nouvel appareil.

La production de l'acier fondu en grande masse, obtenu avec des fontes au coke par le procédé Bessemer, est une véritable révolution métallurgique dont nous devons faire ressortir ici toute l'importance.

M. Fremy a développé les avantages du nouveau mode d'aciération dans le rapport qu'il a publié à la suite de l'Exposition uni-

verselle de Londres de 1862. Nous empruntons à ce travail les considérations suivantes :

Les aciers fondus sont produits par des méthodes différentes, parmi lesquelles on peut citer : 1° la fusion de l'acier cimenté; 2° l'aciération au creuset de fers aciéreux, par un mélange de charbon et d'oxyde de manganèse; 3° la fusion d'un mélange de fonte et de fer aciéreux; 4° le procédé Bessemer.

Les trois premières méthodes peuvent donner sans aucun doute des résultats excellents, mais la fusion de l'acier n'a encore été obtenue d'une manière pratique qu'au creuset contenant 20 kilogrammes d'acier.

Lorsqu'il s'agit de couler une grosse pièce d'acier, pesant par exemple 10,000 kilogrammes, on comprend toutes les difficultés que présente le maniement de 500 creusets chauffés dans 125 fours qui doivent donner au même moment l'acier convenablement fondu.

En outre, la préparation de l'acier fondu par les méthodes anciennes exige toujours l'emploi de fers spéciaux, aciéreux, d'un prix très-élevé, et une consommation de combustible considérable qui, en partant du minerai, représente en poids six à sept fois celui de l'acier produit.

La méthode Bessemer présente les avantages suivants :

1° L'acier Bessemer, convenablement préparé, offre toutes les qualités que l'industrie, la guerre et la marine peuvent demander à l'acier fondu en grande masse; il est homogène, plus dur et plus résistant que le fer; comme il résulte du mélange du fer fondu avec une fonte aciéreuse, il peut être produit avec tous les degrés de dureté qu'exigent les applications, en modifiant les proportions de fer et de fonte.

2° L'acier Bessemer qui se produit à une température très-élevée, qui est celle de la fusion du fer, est très-fluide au moment de sa formation; il ne contient dans sa masse qu'un petit nombre de bulles; on peut donc le couler rapidement dès qu'il sort de l'appareil et donner ainsi à l'acier une première forme qui est achevée ensuite, presque sans déchet, par le martelage ou le laminage.

3° L'aciération Bessemer est une des opérations les plus simples de la métallurgie; elle se fait en quelques minutes et peut être confiée à des ouvriers même peu habiles; elle présente la régularité d'une réaction chimique et ne dépend plus des tours de main ou de l'adresse de l'ouvrier; elle remplace toutes les opérations si longues de l'aciération, qui sont l'affinage pour le fer, la cimentation et la fusion au creuset.

4° Les appareils Bessemer donnent, suivant leur capacité, de 1,000 à 3,000 et 10,000 kilogrammes d'acier, et permettent d'obtenir, en combinant plusieurs de ces appareils et en réunissant leur production, des masses énormes d'acier fondu. Un atelier

Bessemer, contenant deux appareils de 3,000 kilogrammes, remplace 6 à 7 foyers d'affinage, 9 fours à puddler travaillant pendant vingt quatre heures, et 300 creusets pour la fusion de l'acier.

5° Presque toutes les fontes au coke non phosphoreuses et peu sulfureuses peuvent être employées dans l'aciération Bessemer.

C'est là le point important du nouveau procédé qui doit être pris en très-sérieuse considération par tous les pays qui ne possèdent pas de minerais à acier, et chez lesquels le combustible est rare.

La consommation du combustible dans le procédé Bessemer, en y comprenant le chauffage des appareils, n'atteint pas les $\frac{8}{10}$ du poids de l'acier obtenu; tandis que, dans l'ancienne méthode, le poids du combustible employé est six à sept fois plus fort que celui de l'acier produit.

Procédé Siemens Martin. — Réaumur, dès 1722, avait indiqué, comme moyen simple d'obtenir de l'acier, d'incorporer du fer dans un bain de fonte. Ce moyen fut essayé à plusieurs reprises sans succès, mais depuis quelques années l'emploi des gazogènes Siemens a permis de développer une température suffisamment élevée dans les fours où s'effectue l'opération, tout en évitant dans l'atmosphère de ces fours un excès d'air ou un excès de gaz réducteurs.

Le four Martin est un four à réverbère à sole creuse, chauffé par les gaz provenant d'un gazogène Siemens; on y introduit à la fois de 900 à 1,000 kilogrammes de fonte, et quand cette fonte est parfaitement liquide, on y ajoute du fer préalablement porté au rouge blanc. On emploie pour cet usage tantôt du vieux fer, tantôt du fer fabriqué spécialement au four à puddler. On incorpore de cette façon, par 100 kilogrammes à la fois, de 1,600 à 1,700 kilogrammes de fer, qui doivent se dissoudre rapidement et sans qu'il soit besoin d'effectuer aucun brassage.

La quantité de carbone qui se trouvait dans les 1,000 kilogrammes de fonte, se répartit ainsi dans les 2,600 kilogrammes de métal obtenu, lequel est devenu de l'acier; en même temps le métal s'affine, grâce à la température considérable du four.

Comme un peu de carbone a pu disparaître pendant la durée assez longue de l'opération (six à dix heures), on prélève à l'aide d'une cuiller un échantillon du métal dont on essaie la dureté et la malléabilité, et au besoin, on ajoute une petite quantité de fonte miroitante très-carburée, afin d'obtenir pour l'acier la qualité désirée.

Nouvelle théorie de l'aciération.

M. Frey a publié dans ces dernières années une nouvelle théorie de l'aciération qui peut être résumée de la manière suivante :

Au lieu de considérer l'acier comme un carbure de fer contenant quelques millièmes de carbone, il faut d'abord admettre l'existence d'une famille d'aciers fournis par la combinaison de plusieurs corps simples avec le fer : on arrive alors à la définition suivante de l'acier :

Un acier est la première modification que le fer peut éprouver lorsqu'il se combine seulement à quelques millièmes d'un corps simple.

Il paraît impossible de donner à l'acier une autre définition et de chercher à le caractériser par quelques-unes de ses propriétés physiques, telles que l'action de la trempe, la fusibilité, l'élasticité ou la nature du grain ; car tous ces caractères varient avec la nature du corps simple qui a produit l'acier.

Ainsi, on fabrique aujourd'hui des quantités considérables d'aciers fondus présentant le grain, la fusibilité, la ténacité du meilleur acier et qui n'éprouvent aucun durcissement par la trempe.

Cette théorie est applicable à la fonte.

Au lieu d'envisager la fonte comme une combinaison définie de fer et de carbone, il faut admettre l'existence d'une famille de fontes formées par la combinaison de plusieurs corps simples avec le fer : on définit alors la fonte de la manière suivante :

Une fonte est la seconde modification que le fer éprouve lorsqu'il s'unit à une quantité de corps simples plus forte que celle qui existe dans l'acier : cette modification précède la combinaison définie ; elle est en général caractérisée par une fusibilité du composé, qui est plus grande que celle de l'acier correspondant.

Tous ces états acieureux et fonteux ne sont pas particuliers au fer : d'autres métaux peuvent, comme le fer, éprouver par l'action des différents corps simples des modifications comparables à celles qui viennent d'être examinées.

Les études sur l'aciération ne sont donc pas seulement intéressantes par les grandes questions industrielles qu'elles soulèvent, mais aussi par les considérations théoriques qui s'y rattachent. On voit en effet que les fontes et les aciers constituent une classe nombreuse de composés produits par des quantités de corps qui paraissent souvent négligeables dans les réactions chimiques, et que l'aciération appartient à un ordre de phénomènes fort remarquables qui précèdent les combinaisons définies (Fremy).

Il est possible de cémenter rapidement le fer en le chauffant au rouge dans un courant de cyanogène ou plus généralement d'un gaz carburé indécomposable par la chaleur à la température de l'expérience, mais décomposable par le fer par suite de l'affinité de ce métal pour le carbone. Dans ce cas, les deux corps se combinent immédiatement et, de la surface du fer, le

carbone passe peu à peu dans la profondeur. Il se produit nécessairement des cyanures dans les caisses de cémentation, puisque les alcalis du bois ou de la cendre se trouvent en présence du charbon et de l'azote contenu dans le carbone ou dans les gaz de la caisse. Ces vapeurs de cyanure doivent agir sur le fer comme le cyanogène, et la cémentation doit marcher d'autant mieux qu'ils ont plus de facilité à se former. Aussi, en ajoutant au charbon du carbonate de baryte, matière facile à transformer en cyanure, obtient-on une prompte cémentation (M. Caron).

Analyse des fontes et des aciers.

Les fontes et les aciers peuvent contenir, outre le fer et le carbone, des proportions variables de silicium, d'aluminium, de manganèse, de phosphore et de soufre.

Dosage du silicium.

On dissout la fonte ou l'acier dans l'eau régale ou mieux dans un mélange de chlorate de potasse et d'acide chlorhydrique ; on évapore la liqueur à sec ; le résidu est mêlé avec trois ou quatre fois son poids de carbonate de soude, on le chauffe au rouge dans un creuset de platine, on le redissout dans l'acide chlorhydrique, et on évapore de nouveau à sec ; la silice devient insoluble ; on la lave avec de l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique et on la pèse ; le poids du silicium est déduit de la quantité de silice qu'on détermine de cette manière.

Dosage du carbone.

Le carbone peut exister à deux états : à l'état libre constituant le graphite et à l'état combiné. Pour avoir cette seconde variété de carbone, on déduit du poids du carbone total celui du graphite trouvé dans une autre expérience.

Carbone total. — Les méthodes employées peuvent être classées en deux groupes : dans les unes, on attaque le métal de manière à laisser le carbone pour résidu ; dans les autres, on l'oxyde afin de transformer le carbone en acide carbonique et de le doser à cet état.

On arrive au premier résultat en attaquant le métal par le brome ou par l'iode ; le résidu lavé à l'acide chlorhydrique et à l'eau, puis séché à 100°, donne le poids de carbone.

M. Boussingault triture la fonte réduite en poudre avec 15 à 20 parties de bichlorure de mercure et un peu d'eau pendant une demi-heure ; on chauffe ensuite pendant une heure vers 100° en présence d'un peu d'acide chlorhydrique, on jette le précipité composé de carbone et de calomel sur un filtre et on le lave à l'eau chaude ; puis, après dessiccation, on le chauffe graduellement au rouge dans une nacelle de platine, placée dans un tube traversé par un courant d'hydrogène. Le chlorure de mercure est

volatilisé et il reste du charbon qu'on pèse; ce charbon brûle ordinairement comme de l'amadou, en laissant une cendre dont on retranche le poids de celui du carbone. Le graphite extrait des fontes blanches ne brûle que dans l'oxygène; de là un moyen d'en apprécier approximativement la quantité par une double combustion d'abord dans l'air, puis dans l'oxygène.

M. Schlœsing fait passer sur le métal, chauffé dans un tube, un courant lent de chlore sec : le carbone seul reste comme résidu; tous les autres corps sont volatilisés à l'état de chlorures. En faisant traverser à ces chlorures une colonne de chlorure de potassium, le chlorure de fer est arrêté, tandis que les chlorures de silicium, de phosphore et de soufre se dégagent et peuvent être recueillis dans de l'eau qui les décompose.

On peut encore dissoudre le fer par voie galvanique. Ce procédé dispense de pulvériser le métal, en même temps qu'il n'occasionne aucune perte de carbone à l'état d'hydrocarbure gazeux. A cet effet, on plonge le barreau à analyser, suspendu à un fil de platine, dans de l'acide chlorhydrique très-étendu et on le fait communiquer avec le pôle positif d'une pile faible.

Le dosage du carbone à l'état d'acide carbonique peut se faire par divers procédés : on peut brûler la fonte pulvérisée avec un mélange de chromate de plomb et de chlorate de potasse (M. Regnault), ou encore par l'oxyde de cuivre et l'oxygène sec. L'acide carbonique produit est dirigé dans des tubes à potasse comme pour le dosage du carbone dans les matières organiques.

Graphite. — Le graphite reste comme résidu lorsqu'on dissout la fonte dans l'acide sulfurique ou chlorhydrique, tandis que le carbone combiné se dégage à l'état d'hydrocarbure. Le graphite qui se dépose est accompagné de silice; on peut en déterminer le poids en le brûlant et pesant le résidu.

Dosage du phosphore.

On dissout la fonte dans l'eau régale, on évapore à sec pour séparer la silice, on reprend par l'eau acidulée et on précipite la solution par du carbonate de potasse; l'acide phosphorique se précipite avec l'oxyde de fer; on retrouve l'acide phosphorique en calcinant le précipité avec de la potasse au creuset d'argent, reprenant par l'eau, neutralisant par un acide et précipitant par le sulfate de magnésie et l'ammoniaque. Le poids de phosphate ammoniac-magnésien calciné donne le poids de phosphore.

On peut éviter la précipitation du fer en ajoutant à la liqueur après la séparation de la silice, de l'acide citrique en quantité notable, puis de l'ammoniaque; s'il y a suffisamment d'acide citrique, le liquide doit rester limpide. On verse alors un léger excès d'une solution de sulfate de magnésie, additionnée de sel ammoniac; il se

formera, comme ci-dessus, un précipité de phosphate ammoniac-magnésien.

De tous les procédés de dosage de l'acide phosphorique, le meilleur consiste à précipiter cet acide à l'état de phosphate ammoniac-molybdique, en ajoutant à la liqueur une solution de molybdate d'ammoniaque dans l'acide azotique.

Dosage du soufre.

On dose le soufre d'une fonte en dissolvant la fonte dans l'eau régale, en évaporant la liqueur à sec, reprenant le résidu par l'eau acidulée, et précipitant le fer par la potasse. La liqueur est ensuite rendue acide par un excès d'acide azotique, et précipitée par l'azotate de baryte; il se forme du sulfate de baryte, d'où l'on déduit la quantité de soufre.

Dosage de l'azote.

L'azote qui se trouve dans les fontes et les aciers y existe sous deux états différents; une portion de cet azote se transforme en ammoniaque lorsqu'on dissout la fonte dans l'acide chlorhydrique, l'autre portion reste combinée à la masse charbonneuse. Pour connaître la première portion, on neutralise la solution chlorhydrique par de la chaux et on en chasse l'ammoniaque qu'on dose par les moyens ordinaires. Quant à l'azote contenu dans le résidu charbonneux, on peut l'obtenir à l'état d'ammoniaque en le calcinant avec de la chaux sodée, en encore en le brûlant avec de l'oxyde de cuivre, comme pour le dosage de l'azote dans une matière organique.

Essai d'un minerai de fer.

Cet essai a pour but de déterminer la richesse du minerai, la qualité de la fonte qu'il peut donner, et ensuite la nature de sa gangue, afin de connaître la proportion de castine ou d'erbue qu'il faut ajouter pour faire entrer le minerai en fusion. Cette analyse se fait ordinairement par la *voie sèche*; ce mode d'essai présente l'avantage de réaliser, en petit, l'opération qui se pratique en grand dans le haut fourneau.

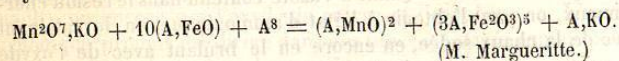
On introduit dans un creuset brasqué de 19 à 20 grammes de minerai réduit en poudre et mélangé avec le fondant. On le soumet à la température d'un feu de forge pendant deux heures. Quand le creuset est refroidi, on en retire le culot, qui se compose de scorie et de fonte; on en détermine le poids; on sépare ensuite facilement la fonte que l'on pèse; la scorie est dosée par différence.

Analyse d'un minerai de fer par le permanganate de potasse.

Ce mode d'analyse s'applique aux minerais et aux alliages de fer; il est d'une exécution facile et comporte plus d'exactitude que

l'essai dans un creuset brasqué; on peut également l'employer pour l'analyse des mélanges ou des combinaisons de protoxyde et de sesquioxyde de fer, tels que les battitures, les laitiers, etc., etc. Il est fondé sur l'action des sels de protoxyde de fer sur le permanganate de potasse.

Lorsqu'on verse, dans une dissolution acide et très-étendue d'un sel de fer au minimum, une dissolution de permanganate de potasse, le fer se peroxyde sur-le-champ, en empruntant de l'oxygène au permanganate qu'il décolore. Tant qu'il reste du fer au minimum, le permanganate se décompose à mesure qu'on le verse, et la liqueur prend une teinte jaune pâle très-faible, due au sel de sesquioxyde de fer; mais quand tout le fer s'est peroxydé, une seule goutte de permanganate suffit pour communiquer à la liqueur une couleur rose très-nette et facile à reconnaître. Ce changement de teinte indique que l'opération est terminée. Il suffira donc, pour effectuer ces essais, d'avoir une solution de permanganate de potasse titrée, c'est-à-dire pour laquelle on connaîtra le nombre de centimètres cubes nécessaires à la peroxydation d'un gramme de fer, par exemple, ce que l'on aura déterminé par une expérience préalable. La formule suivante rend compte de l'action du permanganate de potasse sur un sel de protoxyde de fer dont l'acide est représenté par A :



CHROME. Cr.

Equiv. = 26,28.

Le chrome a été découvert en 1797, par Vauquelin, dans le *plomb rouge de Sibérie* (chromate de plomb).

Ce métal existe dans la nature à l'état de chromate de plomb et principalement de *fer chromé* ($\text{Cr}^2\text{O}^3, \text{FeO}$). C'est ce dernier minéral qui sert à préparer le bichromate de potasse, avec lequel on obtient tous les composés du chrome.

On prépare le chrome en réduisant le sesquioxyde de chrome par le charbon, le mélange intime de ces deux corps étant chauffé dans un creuset de chaux à une très-haute température dans un bon fourneau à vent. (M. H. Sainte-Claire Deville).

Ce métal se présente sous forme d'un culot métallique d'un blanc grisâtre; il est aussi dur que le corindon.

Sa densité est égale à 6,00, il n'est pas magnétique à la température ordinaire, mais à -15° ou -20° , il agit d'une manière sensible sur l'aiguille aimantée. Il ne décompose pas l'eau. Il ne s'oxyde pas à l'air à la température ordinaire, mais, au rouge sombre, il absorbe l'oxygène et se transforme en sesquioxyde. Il

s'unit au chlore avec énergie, en forme du sesquichlorure violet; il se dissout dans l'acide chlorhydrique; les alcalis en déterminent facilement l'oxydation, surtout sous l'influence des chlorates et des azotates; il se forme alors des chromates alcalins.

On peut obtenir le chrome pur et cristallisé en faisant arriver au rouge, sous l'influence de l'hydrogène, de la vapeur de sodium sur le sesquichlorure de chrome (Fremy).

Le chrome est sans usages, mais il forme des combinaisons importantes dont quelques-unes sont employées dans les arts.

COMBINAISONS DU CHROME AVEC L'OXYGÈNE.

La série des composés oxygénés du chrome peut être comparée à celle du manganèse et à celle du fer: elle comprend les composés suivants :

Protoxyde de chrome.....	CrO , découvert par M. Péligot;
Oxyde salin.....	Cr^3O^4 , id.;
Sesquioxyde de chrome....	Cr^2O^3 ;
Bioxyde de chrome.....	CrO^2 ;
Acide chromique.....	CrO^3 ;
Acide perchromique.....	Cr^2O^7 , découvert par M. Barreswill.

Nous ne parlerons que du sesquioxyde de chrome et de l'acide chromique.

Sesquioxyde de chrome. Cr^2O^3 .

Equiv. = 76,56.

Ce corps est d'un beau vert foncé, insoluble dans l'eau; il se dissout dans les acides lorsqu'il n'a pas été calciné; mais si on le porte au rouge naissant, il présente un phénomène d'incandescence remarquable, et n'est plus attaqué que très-difficilement par les acides.

L'alumine et le sesquioxyde de fer présentent la même particularité.

Cet oxyde est irréductible par l'hydrogène, et n'est décomposé par le charbon qu'à une température très-élevée.

Le soufre est sans action sur cet oxyde; mais les vapeurs de sulfure de carbone le font passer à l'état de sulfure de chrome.

Les verres et le borax le dissolvent sous l'influence de la chaleur, et se colorent en vert.

Les alcalis chauffés au contact de l'air avec l'oxyde de chrome forment des chromates.

Le sesquioxyde de chrome anhydre peut être obtenu par les méthodes suivantes :

1^o En calcinant dans un creuset de platine le chromate de protoxyde de mercure, il se dégage du mercure et de l'oxygène, et