

deux premières espèces de minerai peuvent remplacer dans la fonte une partie des minerais lavés, en gros morceaux et en menus, à gangue d'ocre; la troisième espèce, qui renferme encore beaucoup de pyrite grillée, passe néanmoins aussi très-bien à la fonte, parce que cette gangue étant composée d'oxide rouge de fer, retenant seulement un peu d'acide sulfurique et de sulfure de fer au *minimum*, peut être facilement réduite en scories en même temps que le plomb est précipité de son sulfure et de son sulfate, en ajoutant à la masse à fondre des minerais à gangue d'ocre et des scories de forges. La perte en sulfure de plomb, que l'on fait dans la préparation du minerai, ne doit pas être grande, puisque l'on bocarde peu et que le sulfate de plomb qui se forme dans le grillage est adhérent au sulfure et ne paraît point s'en séparer aisément; du moins les eaux de lavage ne sont-elles pas sensiblement blanches. Au surplus, le sulfate de plomb étant par lui-même très-pesant, les parties du sulfure qui auraient été converties entièrement en sulfate dans le grillage, ou celles qui se seraient détachées du sulfure pendant le lavage, doivent nécessairement se retrouver, sans perte très-notable, dans les divers minerais lavés.

J'ai cru inutile de joindre à cette notice les plans des grilles anglaises, doubles cribles, tamis à main, tamis à bascule, bocards, tables à tombeau et tables à percussion employés à Védrin, ces machines ne différant pas de celles usitées ailleurs. Je me borne à donner les plans du fourneau de grillage, qui, à raison des changemens introduits dans les dimensions et les dispositions de ses parties, se rapproche moins des fourneaux connus de même espèce. (V. Pl. I.)

MÉMOIRE

SUR LES DIFFÉRENS ÉTATS DU FER (1);

Traduit et extrait des *Mémoires sur différens points importans du traitement du fer*, de M. Ant. Muller, de l'Administration des Mines de Prusse;

PAR M. AUG.-FR. ENGELHARDT.

Bergmann et Rinmann ont donné les premières notions sur la nature des diverses espèces de fer; elles ont été développées et rectifiées par Berthollet, Monge et Vandermonde, qui ont fait connaître les différences principales existant entre le fer, l'acier et la fonte.

Les progrès des sciences ont dû contribuer aussi au perfectionnement de la théorie de la fabrication du fer: M. Karsten, savant aussi distingué que versé dans le détail de l'art des forges, fit voir l'insuffisance des principes établis, et publia une théorie nouvelle, qui ne tarda pas à être généralement adoptée en Allemagne. Cette théorie est cependant susceptible d'une critique approfondie, afin de reconnaître s'il n'était pas possible d'arriver à un résultat plus conforme aux faits observés et à l'état actuel de la science.

I. *Fonte*. D'après les idées les plus généralement répandues, le carbone est la cause des divers états du fer. Le fer malléable affiné n'en contient que des traces, l'acier en contient davantage, la fonte blanche encore plus; enfin, la fonte grise en renferme une plus grande quantité, et d'au-

(1) Le présent mémoire a été rédigé avant la publication de celui de M. Karsten sur les combinaisons du carbone avec le fer, et qui se trouve dans les *Annales des Mines*, tome 9, pag. 657.

tant plus, qu'elle est d'une couleur plus foncée.

Quelques savans veulent admettre de l'oxygène dans les fontes blanches; d'autres expliquaient la différence des trois états du fer par une combinaison de ce métal avec les terres; enfin on a attribué plus récemment les mêmes apparences à la présence des bases terreuses combinées avec le fer.

M. Karsten attribue également au carbone la différence des états du fer; mais, d'après lui, il ne suffit pas de prendre en considération la quantité de carbone combiné au fer, il faut encore avoir égard au mode de sa combinaison; car il y a des fontes blanches qui contiennent autant de carbone que les fontes les plus grises. L'existence de l'oxygène est tout-à-fait rejetée par M. Karsten; les bases métalliques des terres entrent sans doute souvent en combinaison avec le fer, mais elles ne sont pas essentielles pour constituer ses trois états. Le fer et le carbone peuvent se combiner en proportions définies; mais le carbure formé peut ensuite s'unir en proportions variées au fer lui-même, et s'y dissoudre en quelque sorte.

Le graphite (1), d'après M. Karsten, ne peut se former qu'à la plus forte chaleur des hauts-fourneaux, et c'est une des conditions essen-

(1) Ce métallurgiste a reconnu, par des expériences de laboratoire et depuis la publication de son *Manuel de la métallurgie du fer*, que ce qu'il appelle *graphite*, et qu'il regardait comme un *percarbure* de fer, est du carbone pur. Voyez *Annales des Mines*, tome 9, page 676.

M. Bouésnel a fait voir long-temps avant M. Karsten que le graphite qui se sépare de la fonte n'est que du carbone pur. (*Journal des Mines*, t. 31, p. 151.) R.

tielles de la production de la fonte grise; il faut moins de chaleur pour produire le carbure de fer (proto-carbure) et la fonte blanche: de sorte que cette dernière fonte est celle qui se forme en premier lieu, et elle ne devient grise que lorsqu'elle éprouve une température assez élevée pour qu'il se forme du graphite. L'inverse a lieu, suivant M. Karsten, et par un refroidissement subit, le graphite déjà formé revient à l'état de carbure, s'unissant de nouveau à une plus grande quantité de fer. Mais il y a des corps qui mettent plus ou moins d'obstacle à la formation du graphite, c'est-à-dire de la fonte grise: tels sont les bases des terres, le phosphore, le soufre, le manganèse, etc. Ce dernier corps exerce une influence assez marquée pour empêcher la production de la fonte grise, même à la température la plus élevée, dans les hauts-fourneaux.

D'après le *Manuel* de M. Karsten, on obtient en général de la fonte blanche,

1°. En traitant des mines très-fusibles ou rendues trop fusibles par la disproportion de la castine ajoutée, par des charbons légers ou des machines soufflantes trop fortes (marche d'ailleurs régulière du fourneau);

2°. Par une trop forte dose de minerai (fourneau surchargé, allure dérangée);

3°. Par des étalages trop verticaux, un vent trop fort relativement aux combustibles employés (bonne allure du reste);

4°. Par une chaleur trop faible (allure régulière du reste);

5°. Par une allure irrégulière du haut-fourneau, provenant d'autres causes que la disproportion du minerai et du charbon (mines cou-

lant à travers les charbons, chute de charges, etc.);

6°. Par une trop forte compression de la masse dans la cuve, sur-tout avec les minerais peu fusibles, la chaleur restant alors trop concentrée dans l'ouvrage, et ne s'élevant pas assez. La marche du fourneau peut d'ailleurs paraître très-régulière.

Au contraire, la fonte grise sera produite chaque fois que le fourneau sera bien en chaleur, que le vent pourra s'élever suffisamment dans la cuve et que les scories ne seront ni trop fusibles ni trop épaisses.

Indiquons encore quelques idées particulières à M. Karsten et sur lesquelles nous aurons occasion de revenir par la suite.

1°. La fonte grise est moins fusible que la fonte blanche; elle est plus liquide et se maintient plus long-temps dans cet état.

2°. La fonte blanche s'affine plus facilement que la fonte grise.

3°. Dans les hauts-fourneaux, il ne se forme pas, comme on l'a cru autrefois, d'abord de fer oxidulé, puis du fer métallique pur, puis de l'acier, puis de la fonte contenant plus de carbone : cette manière de voir serait, selon M. Karsten, contraire à tous les phénomènes de la réduction. L'observation des faits, dit-il, prouve que la formation de la fonte blanche exige plus de carbone que la fonte grise, que l'on obtient par une marche régulière du fourneau; car chaque fois que l'on a de la fonte blanche, on obtient des charbons non consommés près de la timpe, qui auraient suffi pour fournir la petite quantité de carbone nécessaire à la formation de

la fonte grise : il ne manquait donc point de charbons.

Une des principales bases de la théorie de M. Karsten est l'existence de deux combinaisons du fer avec le carbone, son carbure et son graphite; hypothèse d'autant plus vraisemblable, que le fer produit des combinaisons analogues avec l'oxygène, le soufre, etc. Mais le développement des autres parties de sa théorie présente plusieurs difficultés.

Lorsque M. Karsten nie que l'oxidule de fer commence par former du régule de fer avant de se combiner au carbone, il entend sans doute dire seulement par là qu'il est impossible d'assigner une place quelconque dans le haut-fourneau, où l'on puisse supposer que ce régule de fer se trouve en quantité assez notable pour qu'il puisse se réunir en masse; de même qu'il est impossible d'assigner un certain temps pendant lequel le fer se maintient pur sans être combiné à du carbone : il est au contraire conforme aux lois des affinités de croire que le fer commence par se désoxider avant de se combiner au carbone, et M. Karsten sera sans doute aussi de cette opinion, puisqu'il a été un des premiers à rejeter la possibilité de l'existence simultanée du carbone et de l'oxygène dans la fonte.

Lorsque les minerais sont bien dosés, la réduction des oxides de fer commence dans des régions beaucoup trop élevées au-dessus de la tuyère, pour qu'ils y trouvent la chaleur nécessaire à la fusion du régule, dont la réunion en masses notables serait d'ailleurs empêchée par la formation encore imparfaite des scories. Avec une marche réglée et une fusibilité convenable du mine-

rai, la masse s'avance peu-à-peu dans les parties plus échauffées du fourneau; les scories se forment; le fer, en se combinant au carbone, devient plus fusible; il se réunit en gouttes, qui, par leur affinité pour le carbone, s'attachent aux charbons plutôt que les scories, et se trouvent ainsi en contact intime avec lui. C'est accolé de la sorte aux charbons, ou bien en glissant entre eux, que le fer arrive devant la tuyère et tombe ensuite sous la couche des scories. Il est hors de doute que le fer ainsi environné de charbons et d'une atmosphère abondante en carbone, doit en prendre jusqu'à ce qu'il en soit saturé, à moins que quelques causes ne s'y opposent. Dans nos hauts-fourneaux, nous n'obtenons cependant jamais toute la masse de fer entièrement saturée de carbone.

Aucune expérience n'est contraire à ce principe. En admettant cette combinaison successive du carbone avec le fer, depuis le moment où il a perdu tout son oxygène jusqu'au moment où il vient plonger sous le bain des scories, il est clair que le fer prendra moins de carbone lorsqu'il se trouvera moins de charbons dans l'espace qu'il doit parcourir, lorsque le temps pendant lequel cette combinaison peut se former se trouvera abrégé par une descente trop rapide du minerai (mines trop fusibles et vent trop puissant), ou lorsque la région où finit la désoxidation et commence la combinaison avec le carbone se trouvera trop près de la tuyère (minerai trop réfractaires, vent trop faible, température trop basse, masse trop comprimée dans la cuve).

Nous pouvons conclure de là que la combinaison avec plus ou moins de carbone ne dépend

pas seulement de la présence du carbone, mais encore des causes qui peuvent faciliter ou empêcher cette combinaison; et ce ne sera point un paradoxe de dire que quelquefois la production d'un fer moins carboné consommera plus de charbons que celle d'un fer plus riche en carbone.

Si donc nous remarquons que la fonte refroidie lentement prend une couleur plus claire et parfois tout-à-fait blanche, lorsque, dans les circonstances indiquées, nous devons y admettre moins de carbone, nous pouvons attribuer cette couleur à la moindre dose de carbone, sans vouloir prétendre que la fonte blanche ne contienne pas du tout de carbone, ou qu'elle contienne de l'oxygène. Nous reviendrons plus tard sur les espèces particulières de fonte blanche qui ont autant de carbone que les fontes les plus grises, telles entre autres que les fontes manganésifères.

La manière dont se forme la fonte blanche nous indique donc suffisamment qu'elle ne peut pas contenir autant de carbone que la fonte grise; de plus, cette quantité plus faible de carbone que nous trouvons dans certaines fontes blanches suffit pour expliquer leur différence d'avec les fontes grises. Les phénomènes indiqués jusqu'à présent n'exigent donc pas que nous adoptions l'opinion de M. Karsten, que ce n'est qu'à la plus haute température du haut-fourneau qu'il se produit du graphite, et que la cause première de la formation de la fonte blanche soit l'empêchement qu'a subi le carbure de fer de se changer en graphite.

Mais aussi les autres espèces de fontes blanches ne demandent pas l'admission de l'hypothèse de

M. Karsten; il convient lui-même que les fontes blanches manganésifères ne donnent pas de graphite, même à la plus forte chaleur des hauts-fourneaux.

Enfin, les faits suivans sont en opposition directe avec l'opinion de M. Karsten : il se forme du graphite dans les essais par la voie sèche et dans les hauts-fourneaux au commencement de la campagne, même à l'arrivée des premières charges de minerai, avant qu'on commence à souffler et lorsque la fonte ne fait qu'apparaître au creuset. Dans ces cas, la température est certainement plus basse que lorsque par la suite un dérangement du haut-fourneau donne de la fonte blanche. Il y a même des minerais manganésifères qui donnent, au commencement de la campagne, des fontes grises, et qui, plus tard, sans que le fourneau soit surchargé, lorsqu'il est au contraire dans la marche la plus régulière, donnent des fontes blanches (1).

La grande quantité de carbone en présence dans ces différens cas influe sans doute beaucoup sur la formation du graphite; mais il ne s'agissait pour le moment que de prouver que le

(1) Ce phénomène, qui paraît singulier au premier abord, s'explique facilement en considérant combien le manganèse est difficile à réduire et à fondre. Ce ne sont que des minerais manganésifères pauvres et très-réfractaires qui donnent de la fonte grise au prime abord. Ces minerais réfractaires auront besoin d'une grande chaleur pour se fondre complètement, et ce n'est qu'alors qu'il y aura du manganèse de réduit, et que la fonte deviendra blanche par son influence; mais lorsque les minerais sont riches, le fer aidera beaucoup la réduction du manganèse, et il pourra se produire de suite une fonte blanche.

graphite peut se former aussi à une température moindre que la plus forte chaleur des hauts-fourneaux.

En admettant outre le graphite un carbure de fer, mais en récusant la transformation du carbure en graphite à la plus forte chaleur du haut-fourneau, il faudra opter entre les deux manières de voir suivantes; savoir, 1°. ou qu'il se forme, dans les cas que nous avons indiqués jusqu'à présent, du graphite dès le commencement de l'opération, qui se combine de suite avec la fonte; 2°. ou bien qu'il ne se forme en général dans les hauts-fourneaux que du carbure, qui, mêlé au fer pur, reste tel, même à la plus haute température des fourneaux; mais que pendant le refroidissement lent de la fonte, le carbone du carbure peut se séparer combiné à une moindre dose de fer, et produire ainsi le graphite qui se trouve dans la fonte.

En adoptant la première supposition, il faudrait admettre avec M. Karsten que le graphite formé à une haute température peut se combiner de nouveau à une plus grande dose de fer, et repasser à l'état de carbure lorsqu'on le refroidit subitement, l'expérience nous prouvant que le refroidissement subit rend toujours la fonte blanche; mais cette opinion n'ayant été adoptée par M. Karsten, à ce qu'il paraît, que pour expliquer ce dernier fait, nous suivrons la seconde manière de voir, qui nous paraît plus naturelle et plus conforme aux principes chimiques.

Après cet examen critique de la théorie de M. Karsten, voyons s'il est possible de la modifier ou de lui en substituer une nouvelle.

Nous pouvons considérer la production de la

fonte, quels que soient les minerais de fer ou leurs gangues, comme une simple opération de réduction d'oxides. La combinaison avec le carbone n'est qu'une suite de l'action du charbon sur le régule de fer; mais à côté de cette opération de réduction se trouve la formation simultanée du laitier, et ces deux opérations sont en rapport si intime qu'il est difficile de considérer l'une sans l'autre.

Le laitier des hauts-fourneaux est une combinaison vitreuse assez parfaite des terres et de quelques oxides métalliques, contenant sans doute aussi une petite dose de carbone.

La combinaison des oxides dans les verres et les laitiers est très-intime, et ils résistent alors à l'action réductrice du carbone. Il est donc important que la réduction du fer soit déjà avancée à un certain degré avant que la formation du laitier commence; car si le laitier commençait à avoir déjà une fusion vitreuse pendant que le fer se trouve encore à l'état d'oxide, il en entraînerait une grande partie dans la vitrification, et le déroberait à l'action désoxidante des charbons. Il y aurait donc alors un laitier très-riche en fer, et quand même l'action désoxidante du charbon le détruirait, il y aurait non-seulement du fer, mais aussi une partie des oxides-terres de réduction, dont les régules s'uniraient à la fonte.

C'est ce qu'on observe en effet, au moins en grande partie, lorsqu'on charge des compositions très-fusibles, et nous verrions constater complètement cette assertion, si la pratique nous offrait des chargemens aussi fusibles que nous l'avons supposé d'abord.

Le laitier exerce une influence triple sur la fonte:

1^o. Selon qu'il se forme plus ou moins rapidement relativement au moment de la réduction du fer;

2^o. Qu'il est en quantité convenable ou non;

3^o. Qu'il est plus ou moins parfaitement vitrifié, ou que ses composans sont plus ou moins facilement réductibles.

L'opération de réduction du fer, considérée isolément, amène les oxides de fer d'abord à l'état de protoxide, puis à celui de fer pur, qui, en se chargeant peu-à-peu de carbone, donne ensuite une fonte de plus en plus carbonée. Tant que le fer est à l'état de régule sans être combiné au carbone, il se trouve dans les régions du haut-fourneau, où il est encore beaucoup trop peu fusible pour se réunir en masses, et où il est d'autant plus divisé que ses molécules sont tenues écartées par l'interposition des terres qui n'ont pas encore pu se réunir en laitier fusible; exposé de la sorte favorablement à l'action du carbone et des gaz carbonés, il ne tarde pas à se former un carbure de fer, qui non-seulement est fusible à cette moindre température, mais encore entraîne une partie du régule de fer.

Le fer ainsi liquéfié se réunit en gouttes adhérentes aux charbons par le laitier qui les environne et qui commence également à entrer en fusion; en descendant lentement avec le charbon, il se charge toujours davantage de carbone, jusqu'à ce qu'il arrive sous la couche de laitier qui recouvre le bain et le garantit contre tout changement ultérieur.

La marche de nos hauts-fourneaux se trouverait nécessairement entravée du moment où l'on voudrait y obtenir le fer déjà affiné; car quoique

le fer ductile ou affiné puisse se fondre devant la tuyère, il ne reste pas à l'état liquide dans les parties inférieures du creuset, et il s'y réunit en masses concrétionnées qu'on ne peut extraire du fourneau qu'en abattant le mur de la timpe. Dans quelques contrées, par exemple, dans le Henneberg, on obtient en effet, en chargeant des minerais plus riches dans les mêmes fourneaux qui donnent ordinairement une fonte liquide, une masse de fer assez ductile, conglomérée, qu'on extrait du fourneau en abattant le mur de devant (1). Ce fer, porté comme loupe sous le marteau, est divisé en *pièces*, que l'on ajoute à la fonte dans les feux d'affineries. Ces *pièces* ne sont cependant pas, à ce qu'il paraît, du fer pur, et contiennent un peu d'oxygène, soit que le fer pur puisse entrer en combinaison avec une certaine dose d'oxide, soit que l'oxide y soit seulement à l'état de mélange.

Nous voyons donc que le fer qui contient un peu d'oxygène est à l'état de conglomérat à la chaleur de nos hauts-fourneaux et non pas liquide; fait qui se confirme également en observant ce qui se passe dans les feux d'affineries, où l'on ne voit à l'état liquide que le fer carburé et les scories.

Si donc quelques phénomènes, tels que ceux, par exemple, que présente le fer doux chauffé fortement au contact de l'air, tendent à faire croire que le fer qui a les caractères généraux du fer pur puisse contenir une certaine dose d'oxygène; cet oxygène ne donne cependant aucune fusibilité au fer tant que le tout n'est point con-

(1) Dans les *stuck-ofen*.

verti en protoxide. *Il ne peut donc y avoir de la fonte qui doive sa fusibilité à sa combinaison avec l'oxygène.*

Nous avons établi plus haut que le fer pur se transforme en carbure en absorbant du carbone et que c'est ce carbure uni au fer pur qui forme la fonte liquide. Ce fait donne une nouvelle preuve de l'existence du carbure de fer carbi-graphite: et comme le fer pur est solide à la température à laquelle se liquéfie la fonte, il serait impossible de se rendre compte de la liquidité de la fonte en la supposant formée d'un simple mélange de graphite et de fer pur. D'ailleurs rien ne prouve la formation du graphite à la haute température de nos fourneaux; toutes les modifications que la fonte éprouve depuis le premier moment de sa formation jusqu'à ce qu'elle vienne tomber sous la couche du laitier, est de prendre de plus en plus du carbone; cette augmentation en carbone ne fait qu'augmenter la quantité de carbure sans opérer un changement subit, tel que le serait celui de la production du graphite à la plus haute température.

Mais si nous observons ce qui se passe lors du refroidissement de la fonte riche en carbone, qui ne contient pas d'autres substances étrangères et qui produit une fonte soit à cassure grise, soit à cassure blanche, selon que le refroidissement a lieu plus ou moins rapidement, nous trouverons que c'est pendant ce refroidissement que doit se former le graphite dans la fonte.

Nous supposons les caractères de la fonte grise suffisamment connus, et les développemens pré-

cédens, ainsi que ce que nous allons dire de la formation des fontes blanches, suffiront pour faire connaître toutes les conditions nécessaires à sa formation.

La fonte blanche se produit sous les conditions suivantes :

1^o. Par un refroidissement rapide de la fonte, qui sans cela aurait pris une cassure grise.

D'après ce qui vient d'être dit, ce n'est donc pas de la fonte grise qui revient à l'état de fonte blanche, mais bien la fonte blanche qui a été empêchée de se transformer en fonte grise ;

2^o. Par un manque de carbone : dans ce cas, la combinaison du carbone avec le fer est trop intime, et l'affinité très-forte qui s'exerce entre les deux corps s'oppose à la séparation du graphite. D'ailleurs cette séparation ne peut se faire que dans une masse bien liquide, mais la fonte sera d'autant moins fluide qu'elle approchera plus de l'état de fer pur, ou qu'elle sera moins carbonée. Or, à mesure que le graphite se sépare, la fonte doit devenir moins liquide, même sans que la température s'abaisse, et s'il y a en même temps refroidissement, la solidification doit avoir lieu très-rapidement : d'où résulte que la séparation du graphite doit arriver promptement à son terme, et alors même que la fonte contient encore du carbone en combinaison.

Cependant je ne crois pas que cette solidification soit la seule cause qui arrête la formation du graphite, mais bien que l'affinité du fer pour le carbone s'oppose aussi à cette formation.

A mesure donc que le fer contiendra moins de carbone, il se formera moins de graphite, et sa

couleur sera d'autant plus claire ; et avec la plus petite dose de carbone, elle sera enfin tout-à-fait blanche.

On n'a pas encore déterminé quelles doivent être les proportions respectives du fer et du carbone pour que la formation de graphite n'ait plus lieu pendant le refroidissement lent de la fonte, et il est probable qu'on ne pourra pas la préciser, puisque, en thèse générale, outre la proportion du carbone, il y a d'autres causes qui concourent à empêcher la formation du graphite.

La fonte à cassure d'un gris foncé coule un peu lentement, mais reste long-temps liquide ; par un refroidissement lent, elle donne beaucoup de graphite ; elle prend beaucoup de retrait, et quand elle se refroidit, à cause de cela, en grosses masses, elle présente des cavités dans son intérieur, qui n'ont pas l'aspect de bulles et ne sont qu'une suite du retrait. Lorsqu'il y a si peu de carbone dans la fonte qu'elle prend la couleur blanche, elle est également peu coulante ; mais en outre elle se solidifie très-promptement et se recouvre, pendant qu'elle est encore liquide, d'une couche d'oxide assez notable. Il se forme beaucoup de cavités bulleuses dans l'intérieur de sa masse, et elle prend peu de retrait pendant le refroidissement. Après le refroidissement, cette fonte est très-cassante, et se brise même souvent sur le lit de sable ; elle est dure à la lime et ne prend point l'empreinte des coups de marteau. On tâche d'éviter ces deux extrêmes, mais sur-tout le dernier, cette fonte n'étant bonne ni au moulage ni à l'affinage : les fontes qui sont intermédiaires se rapprochent plus ou moins des caractères de l'une ou de l'autre ; mais elles sont

toutes plus liquides, et c'est pour cela qu'on tâche toujours d'avoir la fonte dans un état moyen un peu plus rapproché de la fonte grise.

Les fontes appelées *fontes truitées* sont, par leur grande fusibilité, très-propres au moulage; elles s'affinent plus facilement que les fontes grises, et donnent un tout aussi bon fer lorsque c'est une fonte pure, composée de fer et de carbone seulement.

3°. *Par la combinaison du fer avec d'autres substances.* La plupart des substances qui s'unissent au fer possèdent, à un degré plus ou moins prononcé, la faculté d'empêcher la séparation du graphite, et de rendre la combinaison du fer et du carbure plus intime ou plus stable. Nous avons remarqué que la solidification de la fonte empêche ordinairement la séparation du carbone à l'état de graphite; mais que quand même cette cause serait sans influence, le fer, par son affinité pour le proto-carbure, en retiendrait une portion en combinaison; mais cette portion est si petite, qu'elle n'altère pas sensiblement les propriétés du fer pur. C'est, en effet, ce qui a lieu en traitant la fonte long-temps au feu.

Quand donc il s'agit d'obtenir une combinaison constante d'une certaine proportion de carbure avec le fer, comme, par exemple, dans l'acier, il faut tâcher de rendre stable la combinaison du fer avec le carbure par la présence d'une troisième substance.

On voit, d'après cela, que pour obtenir un bon acier par le traitement direct de la fonte, il importe d'employer une fonte qui, malgré la grande quantité de carbone qu'elle contient, garde la couleur blanche pendant son refroidissement

lent, fonte qui est une combinaison triple de fer, de carbone, et d'une troisième substance.

Voyons maintenant quelle est l'influence particulière à chacune des substances qui jouissent de cette propriété, en tant qu'elle peut se déduire des faits connus jusqu'à ce jour.

a. Fonte et bases des terres. Quoique les bases des terres ne s'opposent point aussi puissamment à la formation du graphite que d'autres substances, elles possèdent cependant cette faculté à un degré très-prononcé, et nous remarquerons qu'avec un contenu égal de carbone et pour un même degré de refroidissement, la fonte sera d'autant plus blanche qu'elle contiendra plus de bases terreuses. Nous verrons aussi plus loin que les bases des terres peuvent servir à donner de la stabilité à la combinaison du carbure avec le fer dans quelques espèces d'aciers.

Quelles sont, en général, les bases des terres qui s'unissent de préférence à la fonte, et quelles sont les propriétés qu'elles communiquent à la fonte et aux fers forgés que l'on en retire? Cela ne pourra se déterminer que lorsque nous aurons quelques bonnes analyses de fontes dont nous connaissions toutes les manières de se comporter.

Les observations en grand donnent provisoirement les résultats suivans: le silicium, l'aluminium, le calcium et le barium, s'unissent au fer et rendent tous la fonte aigre; les deux premiers communiquent cette même qualité au fer forgé, et le silicium la donne encore plus que l'aluminium. Le calcium donne un fer cassant, aigre; aussi la fonte obtenue en chargeant beau-

coup en castine, donne à l'affinage une scorie peu fusible, et qui se sépare difficilement du fer. On y remédie aussi bien que possible en y ajoutant un peu de sable quarzeux. Les propriétés que le barium peut donner au fer sont d'autant plus difficiles à déterminer, que ce métal ne provient que du sulfate de barite, et qu'on ne sait pas alors si les caractères acquis par le fer, sont dus au barium ou au soufre qui proviennent de la décomposition du sulfate.

Cependant le fer provenant de mines contenant du sulfate de barite diffère un peu du fer provenant de mines pyriteuses, et il est à présumer que le barium rend le fer cassant et la fonte peu coulante.

b. Fonte et phosphore. Le phosphore possède également la propriété d'empêcher la séparation du graphite, quoiqu'à un degré inférieur, puisqu'à quantité égale de carbone, la fonte contenant du phosphore est toujours plus blanche que celle qui n'en a pas. Cependant le phosphore permet à la fonte de prendre une cassure assez foncée; si elle a pu se charger d'une dose de carbone suffisante, et elle est alors très-propre au moulage. C'est un fait connu que le phosphore rend le fer forgé cassant à froid; mais l'on ne peut en conclure l'inverse, c'est-à-dire que le fer cassant à froid doit toujours cette propriété au phosphore, puisqu'il y a encore d'autres corps qui peuvent la lui communiquer, par exemple, selon toute apparence, le chrome.

c. Fonte et soufre. Le soufre est dans la même catégorie que le phosphore; il donne, à contenu égal de carbone, une cassure plus blanche à la fonte avec laquelle il se combine. J'ai eu occasion

d'observer une fois de la fonte tellement chargée en soufre, que, quoique le fourneau fût en très-bonne marche, et que la fonte pût se saturer convenablement de carbone, elle prit cependant la cassure blanche. Cette fonte diffère essentiellement de la fonte blanche qui contient du manganèse; elle a une forte tendance à la cristallisation, mais moins prononcée que la fonte manganésifère. Elle est très-fusible; mais elle se fige très-rapidement. Lorsqu'on la coule, elle se divise souvent, comme du mercure, en une infinité de petites gouttelettes, qui viennent se réunir de nouveau, mais qui laissent entre elles une infinité de petites sutures. Cette propriété empêcherait déjà cette fonte de servir au moulage, mais en outre elle est très-cassante et éclate pendant le refroidissement.

La cassure de cette fonte présente une texture cristalline; elle est compacte, sans trous et sans bulles. Lorsqu'on l'a brisée après son refroidissement, elle est d'un blanc d'argent et d'un éclat très-vif; brisée pendant qu'elle était encore très-chaude, ou lorsqu'elle se fend d'elle-même, sa cassure devient irisée; elle ne prend pas de retrait pendant le refroidissement.

L'on sait que le soufre rend le fer forgé rouverin; mais tous les fers rouverins ne doivent point cette qualité au soufre. L'arsenic, entre autres, paraît lui donner également cette propriété.

d. Fonte et manganèse. L'on connaît beaucoup mieux les caractères de la fonte blanche manganésifère, que ceux des autres fontes dont nous venons de parler, parce que les substances dont il a été question ci-dessus donnent toutes de mauvaises

qualités au fer, et ne sont unies en fortes doses, à la fonte, que dans les usines mal dirigées. La fonte manganésifère, au contraire, procure un excellent fer forgé et sur-tout un très-bon acier, de sorte que cette fonte est fort recherchée.

Voici ses principaux caractères :

Lorsqu'elle a été produite par une marche bien réglée du fourneau, et qu'elle a pu prendre une quantité suffisante de carbone (qui est souvent aussi forte que celle de la plus foncée des fontes grises), elle a une cassure d'un blanc argentin, à grandes lames brillantes, qui tiennent à la grande tendance à cristalliser que cette espèce de fonte possède. Lorsque cette fonte se refroidit sous une couche de laitier, elle ne prend pas beaucoup de retrait; sa surface est plissée et indique une structure cristalline; le laitier s'en sépare facilement et s'en détache de lui-même, pendant le refroidissement, avec un certain bruit. Les acides attaquent cette fonte inégalement et mettent à découvert la structure cristalline. Elle est assez fragile, mais elle ne se brise pas d'elle-même pendant le refroidissement. Lorsque l'on charge en même temps des minerais capables de donner de la fonte grise, de telle sorte qu'on obtienne une fonte dont la cassure blanche passe en quelques endroits au gris, la fonte, sans perdre de sa dureté, prend une très-grande ténacité et devient excellente pour certains objets, par exemple des enclumes. En augmentant encore la dose de minerai donnant de la fonte grise, cette couleur ne se manifeste que par plaques, la cassure générale restant blanche. En général, la fonte grise est comme

disséminée au milieu de la fonte blanche, ou *vice versa*(1); mais dans ce dernier cas, les grains sont moins distincts. Le carbone venant à diminuer de plus en plus, la fonte est moins lamelleuse; elle se fige plus aisément et finit par adhérer fortement aux laitiers et aux parois du creuset, où elle forme des amas nuisibles. C'est de la fonte très-réfractaire qu'il ne faut point confondre avec le fer ductile qui s'attache quelquefois à la tuyère et au-dessus, même quand le fourneau va bien, et sur-tout quand on traite des minerais manganésifères.

e. Fonte et métaux. Les notions imparfaites que nous avons sur l'alliage du fer avec les autres métaux, ne nous donnent que des notions très-imparfaites sur ce sujet, d'autant plus que nous ignorons quel est le rôle que joue le carbone dans ce cas, et si la fonte ne se comporte pas tout autrement dans ces alliages que le fer affiné. Les résultats que nous présentent les métallurgistes sur ces points sont si divergens et souvent si contradictoires, qu'ils exigent confirmation ultérieure (voyez, pour plus de détails, le *Traité* de Karsten, qui contient des notices très-intéressantes sur l'influence qu'exerce le zinc sur le fer affiné et sur la fonte). Il paraît cependant que la plupart des métaux qui se combinent au fer empêchent la formation du graphite, et que leur addition peut être utile dans la fabrication de l'acier. On doit lire avec intérêt, sous ce rapport, les expériences de M. Fischer de Schaffhouse sur la combinaison de l'acier avec le cuivre (son acier,

(1) Fonte truitée.

fondu jaune, doit contenir un quart de cuivre); les expériences de MM. Stodart et Faraday sur l'alliage de l'acier avec une petite quantité d'argent (à-peu-près avec 0,2 pour 100), répétées et constatées par M. Fischer; leurs expériences sur l'alliage de l'acier avec le rhodium; les expériences de M. Berthier sur l'alliage du fer et de l'acier avec le chrome (*An. chim.*, t. 17). Il est très-remarquable qu'en général il suffise d'une très-petite quantité d'une substance étrangère pour produire ces effets. Je citerai pour exemple le plomb. Tous les métallurgistes paraissent s'accorder à croire que le plomb ne s'allie point avec le fer. Cependant c'est un fait très-connu, qu'une petite quantité de plomb, une once, par exemple, jetée dans un haut-fourneau, rend la fonte beaucoup plus fusible, ce qui semblerait indiquer qu'il y a combinaison: or, la fonte produite dans cette circonstance ne peut contenir que 0,0005 de plomb tout au plus; il n'est donc pas étonnant que ce métal échappe à l'analyse, mais cela fait voir combien peu il faut d'une substance étrangère pour altérer les qualités du fer.

Il est très-probable que la fonte blanche n'est pas plus homogène que la fonte grise, mais que c'est un mélange de carbure de fer et de fer pur; tandis que la fonte grise contient en outre du graphite (1).

Mais il ne faut pas perdre de vue que toute fonte qui conserve la cassure blanche après un

(1) Cette manière de voir de M. Muller est aussi conforme à l'opinion de M. Berzélius, qui s'exprime ainsi:

« Le fer s'unit en plusieurs proportions au carbone;

refroidissement lent, est un composé ternaire de fer, de carbone et d'une troisième substance; les cristaux seront donc vraisemblablement aussi des composés ternaires, et il est possible que la quantité de carbone qu'ils contiennent varie avec la nature de la troisième substance.

Ce n'est que d'un grand nombre d'analyses comparatives que l'on peut espérer la solution de cette question difficile.

II. *Fer pur.* Selon l'opinion générale des métallurgistes, le bon fer forgé est du fer pur, ne contenant qu'une trop petite quantité de substances étrangères, sur-tout de carbone, pour qu'elles puissent altérer ses propriétés caractéristiques. Lorsque le fer se trouve allié d'une quantité suffisante de substances étrangères, pour que ses

» sursaturé de carbone, il fournit le graphite (plombagine)... Il paraît que le fer peut s'unir en plusieurs proportions définies au carbone, quoiqu'en traitant directement ces deux substances ensemble on n'obtienne que du graphite ou de la fonte, qui paraissent être les deux extrêmes de ces combinaisons définies.

» Presque toutes les fontes refroidies subitement prennent plus ou moins les caractères de la fonte blanche, et, en général, le plus ou moins de célérité de refroidissement a une grande influence sur l'aspect de la cassure de la fonte. » La cause en est que la fonte ne consiste point en une seule combinaison chimique, mais que c'est un mélange de plusieurs combinaisons distinctes réunies par la fusion, et qui se séparent pendant un refroidissement lent, chacune en suivant la pesanteur et la force d'aggrégation qui lui est propre, se figeant et se cristallisant à des époques différentes: c'est ce qui donne une cassure d'un aspect si varié à la fonte refroidie lentement. » (BERZÉLIUS, *Traité de Chimie*, trad. en allemand par Blods, t. II, art. 15. *fer. § du fer et du carbone et fontes.*)

propriétés soient sensiblement altérées, et que son usage vienne à être plus limité par là (attendu que la plupart de ces substances lui donnent des défauts), on le désigne par les qualités que lui ont communiquées ces substances, comme fer rouverin, fer cassant à froid, etc. Cependant les différentes expressions de fer aigre, fer rouverin, cassant à froid, cassant, pourri, mal affiné, etc., etc., sont loin d'indiquer toutes les variétés de fer; il y en a une si grande quantité, que ce n'est qu'une longue expérience qui puisse nous apprendre à les connaître, et il ne peut être question de les examiner toutes ici. Nous avons déjà indiqué plus haut la cause qui produit la majeure partie de ces variétés.

III. *Acier*. Il ne nous reste donc à parler que de l'ACIER. C'est d'après les analyses qu'on en a fait une combinaison de fer et de carbone, et c'est à ce dernier corps qu'il doit, sans aucun doute, ses propriétés caractéristiques. L'acier a une cassure grise; mais sa couleur, ainsi que sa texture, sont tout autres que celles de la fonte grise; aussi ne remarque-t-on dans l'acier aucune séparation de graphite: nous croyons donc que l'acier est formé, comme la fonte blanche, par l'union du carbure de fer et du fer pur.

Mais la fonte blanche, comme nous l'avons vu ci-dessus, est une combinaison triple, et il y a tout lieu de croire que l'acier est également un composé ternaire, en tant que cette supposition n'est pas contraire aux analyses qu'on en a faites. Il est vrai que toutes les analyses que nous possédons de l'acier n'y indiquent pas un troisième corps, tel que le manganèse ou un autre métal, ou la base

d'une terre: aussi il parut d'abord que l'acier *de cémentation*, préparé avec du fer pur (dans le sens que nous avons donné plus haut à cette expression) et du carbone, ne pouvait contenir que du fer et du carbone, jusqu'à ce que M. Berzélius prouva que le fer cémenté avec du carbone et de la silice prenait, outre le carbone, du silicium, et que M. Boussingault crut même devoir admettre que ce n'était point au carbone, mais bien au silicium que l'acier de cémentation devait ses caractères distinctifs. Les expériences de Faraday sur le wootz et les moyens de l'imiter à l'aide de l'alumine, ne laissent d'ailleurs plus aucun doute sur l'influence des bases des terres dans la formation de l'acier. Au surplus si l'on voulait admettre l'exactitude des analyses qui ne trouvent dans l'acier que du fer et du carbone, cela nous forcerait seulement à dire que tous les aciers ne sont pas une combinaison ternaire. Mais il convient de remarquer qu'un grand nombre de ces analyses n'ont été faites que sous des points de vue particuliers (quelques-unes, par exemple, pour découvrir si le manganèse fait essentiellement partie de la composition de l'acier), et qu'en général, avant que l'influence des bases des terres fût connue, on négligeait facilement la présence d'une petite quantité de substance jugée étrangère ou accidentelle. Tant que des analyses bien exactes n'auront donc pas prouvé l'existence d'un acier formé seulement de fer et de carbone, nous pourrions considérer l'acier comme un composé ternaire de fer, de carbone et d'une troisième substance. Quant à la manière de voir de M. Boussingault, qui croit que ce n'est point le carbone,

mais bien le silicium qui donne, au moins dans certains cas, ses caractères distinctifs à l'acier, je ne crois pas que les motifs qu'il allègue soient suffisans pour l'admettre.

L'acier-Clouet, formé par la cémentation sans carbone, qu'il cite comme exemple, et qui ne donne à l'analyse aucune trace de carbone, a été formé trop en petit pour être une preuve concluante; d'ailleurs, l'alliage obtenu ne présentait que *quelques caractères généraux* de l'acier, et n'a point été soumis à un travail ultérieur. Tous les aciers fabriqués jusqu'à ce jour, en grand, contiennent du carbone, et je crois devoir les prendre tous, comme la fonte blanche, pour des composés ternaires. L'acier se rapproche donc beaucoup de cette espèce de fonte, et ce n'est, en effet, que d'elle qu'on le retire, lorsque c'est par de la fonte qu'on veut l'obtenir.

Il s'agit donc de voir quelle est la différence entre la fonte blanche et l'acier. La réponse que l'on a faite jusqu'à présent que cette différence ne paraît provenir que de la proportion de carbone ne paraît pas suffisante, si l'on remarque que la différence entre la dose de carbone de l'acier le plus riche en carbone et de la fonte blanche la moins carbonée est presque nulle. De plus, il n'est point probable que ce soit justement l'acier le plus riche en carbone ou la fonte la plus pauvre que l'on puisse trouver qui aient été examinés. Il est peut-être possible de trouver de la fonte qui contienne moins de carbone que l'acier.

Ces deux corps présentent quelques analogies par certaines propriétés, telles que la fusi-

bilité (l'acier très-carboné étant aussi fusible que les fontes blanches pauvres en carbone); mais ils diffèrent essentiellement l'une de l'autre par la texture et la ductilité. Le résultat des analyses ne permet pas de trouver dans le manganèse ou les métaux terreux la cause de la différence qui existe entre la fonte blanche et l'acier; on peut encore moins supposer que cette différence dépend des autres métaux, du soufre ou du phosphore, la présence des premiers n'étant qu'accidentelle, et celle des dernières substances étant toujours nuisible aux qualités de l'acier. Puisque tous les moyens chimiques de distinction sont épuisés, nous devons croire que la différence n'est que *mécanique* et ne consiste que dans un autre arrangement des molécules.

Le zinc nous présente des phénomènes analogues; on peut l'obtenir si cassant qu'il se laisse pulvériser; et des procédés convenables qui n'influent en rien sur sa composition, mais seulement sur l'arrangement de ses molécules, lui donnent une grande ductilité. La différence dans la texture des corps, produite par l'influence d'une grande variation de température, sans qu'il y ait en même temps action chimique, n'est qu'un changement purement mécanique dont on pourrait donner un grand nombre d'exemples. Bornons-nous à citer un corps où la différence produite est permanente: l'acier lui-même et les fers qui s'en rapprochent possèdent cette propriété au plus haut degré. Le zinc nous a prouvé qu'une simple différence d'arrangement mécanique des molécules suffit pour donner de la ductilité au métal. L'acier

lui-même prouve que la simple différence de texture est suffisante pour donner à un corps des qualités tout-à-fait opposées; tout ceci, combiné avec la difficulté qu'il y a d'expliquer chimiquement la différence entre l'acier et la fonte blanche, doit nous conduire à admettre que cette différence ne consiste que dans l'arrangement mécanique des molécules. Considérons quelques phénomènes que présente la préparation de l'acier en grand, et nous trouverons moyen d'y appliquer facilement notre manière de voir; mais auparavant faisons remarquer combien est intime la combinaison du carbone dans la fonte blanche et dans l'acier. Cette combinaison est si forte que, quand on charge des minerais capables de donner en partie de la fonte blanche (de l'espèce riche en carbone) et en partie de la fonte grise; la fonte obtenue alors laisse voir ordinairement dans sa cassure chacune des deux fontes séparées. Quand l'on affine un mélange de fonte blanche et de fonte grise, on obtient un fer très-ductile et très-doux, mais qui ordinairement n'est pas tout-à-fait homogène, parce que la fonte blanche (manganésifère et riche en carbone) s'affine plus difficilement que la fonte grise, qui contient la même quantité de carbone. (Il y a plusieurs métallurgistes qui prétendent le contraire. Quand on a de bon acier, il se laisse travailler, forger et souder à bien des reprises sans changer de nature ni perdre de sa qualité (quoique, sur-tout dans un raffinage répété, il soit assez exposé au vent pour éprouver une forte perte en poids); enfin, dans la préparation du damas, on soude ensemble, on tord, on

replie et on traite à plusieurs reprises, devant le vent, du fer et de l'acier, sans que le carbone de l'acier passe dans le fer; en faisant agir les acides, on découvre le fer et l'acier restés parfaitement séparés.

Nous trouvons dans le *Manuel* de M. Karsten que la fonte blanche, chauffée et refroidie sous l'eau à plusieurs reprises, devient ductile et se laisse forger. J'ignore en quoi l'immersion dans l'eau peut être nécessaire pour plusieurs espèces de fontes; mais j'ai vu, par mes propres expériences, qu'en chauffant à plusieurs reprises quelques espèces de fontes blanches très-carbonées, et les battant et forgeant d'abord doucement et avec précaution, on finit par les rendre ductiles. Il est très-probable que les immersions dans l'eau sont utiles dans ces opérations, en ce qu'elles empêchent la fonte de reprendre plus facilement la texture qui lui est propre.

La fabrication des filières dans plusieurs tréfileries nous offre également un exemple à citer ici. On forge les filières en fer doux; on y pratique, au moyen d'une châsse, un petit enfoncement, dans lequel on coule sous une couche d'argile de la fonte blanche approchant de l'acier; puis on perce avec des poinçons, à une chaleur convenable, en commençant du côté du fer affiné. La possibilité de perforer ainsi la fonte indique déjà de la ductilité; mais on la voit encore bien plus prononcée lorsque ces filières sont élargies par l'usage, puisque l'on peut les redresser en frappant même à froid la filière du côté de l'acier; enfin, on trouve cette ductilité parfaite lorsqu'on retire le morceau d'acier d'une vieille

filière et qu'on le voit se laisser souder et forger.

Il arrive souvent, dans la fabrication de l'acier, que les premiers coups de marteau brisent la loupe en pièces. Ce fait prouve que, dans cet état, l'acier n'est pas assez ductile pour se laisser forger, mais qu'il a encore beaucoup de rapports avec la fonte; cependant, il suffit de souder ensemble les pièces obtenues et de les forger à plusieurs reprises pour avoir de bon acier. Les faits que la fonte blanche et l'acier non malléable peuvent être rendus ductiles en les forgeant peu à peu et avec précaution; que le carbone est combiné si intimement à la fonte blanche et à l'acier que, dans les cas cités, il ne peut s'en séparer, peuvent être considérés comme autant de preuves que la principale différence entre l'acier et la fonte blanche ne consiste que dans l'arrangement de leurs molécules.

Le résultat de la plupart des analyses qui indiquent moins de carbone dans l'acier que dans la fonte blanche, ne doit pas nous étonner; car, quoiqu'il soit possible d'obtenir un acier aussi chargé en carbone que la fonte la plus carbonée, cet acier acquerrait par là plusieurs qualités (par exemple, une trop grande fusibilité) nuisibles à son usage ordinaire: il ne serait donc pas avantageux de tâcher de se le procurer. Il est de plus très-naturel que l'acier moins carboné se rapproche davantage des qualités du fer, et il sera par là plus facile à rendre ductile; il exigera moins de précaution pour sa fabrication. D'un autre côté, pour obtenir de bon fer, on est obligé ordinairement de conduire la marche des hauts-four-

neaux de manière à avoir une fonte très-carbonée: on sera donc obligé, pour obtenir de l'acier tel qu'on le désire la plupart du temps, de diminuer la quantité de carbone. Voilà sans doute l'origine de l'opinion que l'acier doit contenir moins de carbone que la fonte, et que c'est là le caractère distinctif de ces deux corps.

Terminons par quelques réflexions qui pourront suggérer quelques idées nouvelles et utiles pour la pratique.

Si l'acier est un composé ternaire de fer, de carbone et d'un troisième corps qui rend stable la combinaison des deux premiers, ce dernier corps exercera nécessairement son influence non-seulement sur l'union plus intime du fer et du carbone, mais encore sur les propriétés générales de l'acier qui doit en résulter. Il faut donc être très-attentif aux caractères que présente l'acier, non-seulement selon qu'il est formé de fer et de plus ou moins de carbone, mais encore selon qu'il contient en outre du manganèse, du silicium, de l'aluminium, des combinaisons de ces divers corps, ou enfin d'autres métaux. C'est un vaste champ ouvert pour l'expérience, sur lequel les travaux de MM. Faraday et Stodart nous laissent déjà entrevoir quelques résultats.

Nous voyons que l'aluminium donne à l'acier une grande dureté sans altérer ses autres qualités, et qu'une petite quantité d'argent peut également l'améliorer. Il n'est point encore décidé, par des expériences directes, comment se comportera le silicium employé de la même manière que l'aluminium, quoiqu'un grand nombre d'aciers de nos usines contiennent ce métal, et que sans aucun doute il joue un grand rôle dans l'a-

cier de cémentation. Il serait aussi à désirer que l'on combinât directement le manganèse à l'acier, et qu'on en étudiât les caractères distinctifs. Mais il serait nécessaire de faire en même temps l'analyse des aciers ordinaires de nos usines avec la plus grande exactitude et la plus grande impartialité. On trouvera dans l'acier beaucoup de substances que l'on n'y avait point présumées d'abord. Je ne doute pas qu'on ne trouve de l'argent dans l'acier naturel du Henneberg, ainsi que dans d'autres aciers et même dans le fer forgé. Il y a à Kamsdorf (cercle de Zugiareillia, gouvernement d'Erlurt) du minerai qui sert principalement à fabriquer l'acier du Henneberg, et qui laisse déposer des grains d'argent sur les parois des fourneaux : on est fondé à présumer que les fontes, les fers et les aciers qui en proviennent contiennent de l'argent et lui doivent une partie de leurs qualités. En partant de la considération que la fonte blanche ne diffère de l'acier que par l'arrangement de ses molécules ; que néanmoins la diminution de la quantité de carbone dans la fonte est nécessaire, non pour la convertir en acier, mais bien pour donner à l'acier des qualités qui le rendent plus utile, on peut dire qu'il serait en effet possible de convertir la fonte blanche en acier, en lui faisant subir seulement un traitement mécanique convenable, mais qu'on n'en retirerait pas un grand avantage pour la pratique ; qu'au contraire on pourrait peut-être trouver un procédé plus économique pour la fabrication de l'acier naturel et sans éprouver le grand déchet qui a lieu ordinairement, en fondant ensemble de la fonte blanche et du fer affiné (l'on pourrait employer à cet effet des rognures de tôle, des tournures et des

limailles de fer). Si cette union ne présente pas de trop grandes difficultés, je crois qu'il vaudrait la peine de tenter ces expériences à de hautes températures : ce sont les propriétaires d'usines d'acier fondu qui seraient sur-tout à même de les faire.

Résumé du Mémoire de M. Muller.

I. *Fontes.* 1°. Le fer peut former deux combinaisons distinctes avec le carbone : une première, de peu de carbone et de beaucoup de fer, le carbure de fer (proto-carbure) ; et une seconde, de beaucoup de carbone et de peu de fer, le graphite (percarbure).

2°. La fonte n'est qu'une combinaison de fer pur et de carbure : les fontes grises contiennent en outre du graphite.

3°. Dans nos hauts-fourneaux, les minerais de fer commencent par se désoxyder ; le régule de fer se combine aussitôt avec du carbone, et continue de s'en charger tant que les circonstances le lui permettent. Cette opération de réduction est accompagnée de la formation du laitier, qui influe particulièrement sur la quantité de carbone que peut contenir la fonte, selon qu'il se produit plus ou moins rapidement, qu'il est en plus ou moins grande quantité, plus ou moins bien vitrifié, liquide ou épais ; enfin selon la nature même de ses composans.

4°. Dans les fontes qui n'ont que peu de carbone, l'affinité du fer pour ce corps est trop forte pour lui permettre de se séparer et de former du graphite : ces fontes restent donc blanches, même par un refroidissement lent.

Dans les fontes riches en carbone, au contraire, ce corps se sépare pendant la solidifica-

tion de la fonte, en formant du graphite dont les particules, en mélange intime avec le reste de la masse, donnent à la fonte la cassure grise.

Un refroidissement subit ne permettant pas cette formation successive du graphite, occasionne toujours une cassure blanche.

5°. Il y a des corps qui, unis au fer, empêchent cette séparation du carbone sous la forme de graphite, tels que le phosphore, le soufre, les bases métalliques, les oxides-terres, etc., d'autres métaux, sur-tout le manganèse. En ce cas, la fonte qui contient autant et plus de carbone que la fonte la plus grise, conserve la cassure blanche, même après le refroidissement le plus lent et le plus ménagé possible.

II. *Fer pur. Fer forgé.* Le fer forgé est considéré comme du fer pur contenant des substances étrangères, sur-tout le carbone, en trop petites quantités pour en altérer les propriétés: ce sont les propriétés plus ou moins nuisibles que ces substances lui communiquent qui en forment autant de variétés.

III. *Acier.* Sa composition chimique paraît être identique avec celle de la fonte blanche, c'est-à-dire qu'il serait formé de fer pur, de carbone et d'un troisième corps, tel que de l'aluminium, du silicium, du manganèse, etc., etc., qui rendraient stable l'union du carbone et du fer. La différence entre la fonte blanche et l'acier ne paraît résider, d'après M. Muller, que dans l'arrangement mécanique des molécules.

NOTE

Sur le muraillement des puits aux mines de Fins ;

PAR M. J. GUILLEMIN.

Le muraillement des puits, lorsqu'ils doivent être de longue durée, est incontestablement préférable à leur revêtement en bois. Je pense en outre qu'au moyen du procédé qui fait l'objet de cette note, et qui a été avantageusement suivi aux houillères de Fins, ce mode de soutènement est plus économique de toute manière; que les frais d'établissement sont moindres, même dans un pays comme celui-ci, où les bois ne sont pas encore d'un prix très-élevé, et que, par conséquent, il mérite la préférence sur le boisage dans presque tous les cas. Ce procédé étant peu connu, j'entrerai dans des détails suffisans pour que son exécution soit facile; je crois rendre un véritable service à toutes les personnes qui dirigent des exploitations de mines.

Le muraillement se fait au fur et à mesure qu'on descend et sans employer de boisages provisoires, qui occasionnent toujours une assez grande dépense. On s'enfoncé autant que la solidité du terrain le permet, et aussitôt qu'on ne peut plus le faire sans danger, on muraille; puis on creuse de nouveau, et l'on muraille encore aussitôt qu'on le juge nécessaire, et ainsi de suite.

La grande difficulté est de soutenir le muraillement pendant qu'on descend, car la bâtisse en elle-même n'a rien de difficile.

La première partie du muraillement est assu-