

Sur la fonte de fer d'Ancy-le-Franc (Yonne);

Par M. P. BERTHIER, ingénieur des mines.

M. le marquis de Louvois a établi à Ancy-le-Franc un haut-fourneau, que l'on a mis en feu, pour la première fois, il y a deux ans. On y traite des minerais hydratés en gros grains, que l'on trouve en abondance presque à la surface du sol, et qui rendent de 0,40 à 0,50 dans les essais en petit : la fonte qu'ils produisent en grand est d'excellente qualité; elle est dé à très-recherchée pour les objets de moulerie, sur-tout à Paris. Cette fonte est très-grise, à grains fins, douce, très-facile à limer, à tarauder, à tourner, etc.; elle prend un poli presque aussi beau que l'acier : on peut la forger à froid jusqu'à un certain point; enfin elle donne, par l'affinage, du fer de première qualité.

Lorsqu'on la traite par l'eau régale, elle laisse un résidu noir et très-léger, dont la proportion s'élève à 0,06. Quand on grille ce résidu, il se décolore aisément, et se change en une poudre fine, un peu rougeâtre, qui se dissout presque en totalité dans la potasse caustique liquide, et qui se comporte en tout comme de la silice gélatineuse. Les laitiers d'Ancy-le-Franc étant inattaquables par les acides, cette silice ne peut provenir que du silicium contenu dans la fonte. D'après les résultats de l'analyse on trouve que celle-ci doit renfermer 0,012 de silicium et au moins 0,024 de carbone. Est-ce à la présence du silicium que la fonte d'Ancy-le-Franc doit ses qualités remarquables? Je serais tenté de le croire, en considérant que la fonte du Shropshire, réputée la meilleure de l'Angleterre pour la moulerie, en contient aussi une assez grande proportion. J'en ai trouvé 0,007 dans un échantillon de cette fonte, qui avait été refondue dans un fourneau à la Wilkinson.

DESCRIPTION

D'un procédé à l'aide duquel on obtient une espèce d'acier fondu semblable à celui des lames damassées de l'Orient;

Par M. BRÉANT, vérificateur des essais à la Monnaie.

Les expériences faites par MM. Stodart et Faraday sur la composition de l'acier de l'Inde, connu sous le nom de *wootz*, et sur les alliages de l'acier ordinaire avec plusieurs métaux, furent, pour la Société d'Encouragement française, l'occasion de nommer une commission chargée de les répéter, et de chercher à perfectionner nos aciers. M. Bréant, l'un des commissaires, entreprit, à cet effet, un grand nombre d'essais, et les résultats qu'il obtint paraissent déjà fort importants, la Société et le Ministre de l'intérieur firent les fonds nécessaires pour continuer et multiplier ces expériences. M. Bréant s'est occupé des alliages de l'acier, tant sous le rapport de leur qualité pour former des tranchans propres à différens usages, que sous celui du damassé que l'on peut y développer lorsqu'ils sont employés. Il a eu beaucoup d'obstacles à surmonter, tantôt pour opérer la fonte des aciers et alliages, ou pour obtenir des masses sans boursoufflures, tantôt pour forger les produits obtenus, ce qu'il a été le plus souvent obligé de faire lui-même, faute d'avoir pu trouver des ouvriers qui eussent assez de patience et d'intelligence pour y réussir.

Les *Annales des Mines* contiennent l'exposé des faits nouveaux et des analyses qui ont été publiées depuis quelques années, et il suffit

d'y recourir (1) pour connaître tout ce qui a été fait, dans ces derniers temps, pour perfectionner la fabrication de l'acier. On y remarquera (2) particulièrement l'extrait d'un rapport de M. Héricart de Thury sur les aciers d'alliage et sur les aciers damassés, à l'occasion de ceux présentés à la Société d'Encouragement par M. Sir Henry, coutelier à Paris.

Les deux communications des travaux de M. Bréant, publiées dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* pour l'année 1821, laissaient encore beaucoup à désirer sous le rapport de la nature des aciers damassés de l'Orient, et quoiqu'il parût que les apparences moirées ou ondulées sont le résultat d'une composition particulière et non d'un travail mécanique, il restait à déterminer cette composition, ou du moins il fallait en trouver une qui produisit dans l'acier des apparences semblables. M. Bréant a trouvé la solution du problème du damassé dans une incorporation de carbone surabondante à la combinaison qui forme l'acier ordinaire. Suivant ce chimiste, c'est en raison des deux états de combinaison dans lesquels le carbone se trouve dans l'acier, que celui-ci devient susceptible de présenter le damassé. Un grand nombre d'expériences, faites depuis cette époque, d'ont mis dans le cas de poser des bases de plusieurs procédés sur lesquels on peut établir une fabrication suivie de diverses espèces d'acier fondu. La Société d'Encouragement avait d'abord pensé qu'il ne convenait pas, dans l'intérêt de nos fabriques, de répandre tout de suite les détails des procédés, afin

(1) *Annales des Mines*, tom. VI, pag. 570; tom. VII, pag. 555; tom. VII, pag. 166.

(2) *Idem*, tom. VI, pag. 555.

d'assurer aux artistes français une priorité toujours fort avantageuse; mais d'autres considérations l'ont engagée à publier les résultats obtenus par M. Bréant, et ils sont consignés dans le n^o. 230, pag. 222, de son *Bulletin* pour 1823. Leur importance ne permet pas d'en retarder l'insertion dans les *Annales*, ni même d'attendre les dessins des fourneaux et les nouveaux détails promis par l'auteur, et relatifs aux précautions qu'il a dû prendre pour assurer le succès de son procédé.

La surface moirée des sabres orientaux a dû faire croire qu'ils sont fabriqués avec ce qu'on appelle une étoffe, c'est-à-dire un composé de barres ou de fils d'acier soudés, troyés, et tordus en divers sens.

Une longue série d'expériences entreprises pour éclaircir la question, a démontré que la matière du damas oriental est un acier fondu plus chargé de carbone que nos aciers d'Europe, et dans lequel, par l'effet d'un refroidissement convenablement ménagé, il s'est opéré une cristallisation de deux combinaisons distinctes de fer et de carbone.

Cette séparation est la condition essentielle; car si la matière en fusion est subitement refroidie comme elle le serait dans une petite lingotière, il n'y a pas de damassé apparent; il n'est visible qu'à la loupe.

La loi découverte par M. Berzelius, suivant laquelle se combinent les corps qui ont entre eux quelque affinité, explique d'une manière satisfaisante la propriété qui caractérise l'acier des damas orientaux, de se moirer à la surface,

lorsque, après l'avoir poli, on le soumet à l'action d'un acide très-affaibli.

Si les combinaisons des corps qui ont entre eux de l'affinité n'ont lieu qu'en proportions fixes, tout ce qui excède cette proportion n'entre pas en combinaison, mais se trouve seulement mélangé: or, le fer et le carbone forment au moins trois combinaisons distinctes. L'acier qui est à l'une des extrémités de la série ne contient qu'une très-petite proportion de carbone (un centième); la plombagine, au contraire, contient douze à quinze fois plus de carbone que de fer. Les fontes blanche et noire occupent l'espace intermédiaire.

Supposons que dans la préparation de l'acier on ne fasse pas entrer assez de carbone, il n'y aura d'acier formé qu'en proportion de la quantité de carbone combinée; le reste sera du fer seulement mélangé: alors le refroidissement opérant lentement, les molécules d'acier plus mobiles tendront à se réunir et à se séparer de la portion du fer. Cet alliage sera donc susceptible de développer un damassé; mais ce damassé sera blanc, peu profoncé, et le métal ne sera pas susceptible d'une grande dureté, parce qu'il sera mêlé de fer.

Si la proportion du carbone est précisément telle qu'elle doit être pour convertir en acier la totalité du fer, il n'y aura qu'une seule espèce de combinaison, des lbs aucune séparation de composés distincts n'aura lieu pendant le refroidissement: c'est ce qui m'est arrivé plusieurs fois, et ce que je le présume, pourra servir à faire reconnaître la meilleure proportion de carbone dans la fabrication de l'espèce d'a-

acier la plus propre au travail des métaux (1).

Mais si le carbone est un peu en excès, la totalité du fer sera d'abord convertie en acier; ensuite le carbone resté libre dans le creuset se combinera dans une nouvelle proportion avec une partie de l'acier fondu déjà formé. Il y aura deux composés distincts, de l'acier pur et de l'acier carburé ou de la fonte. Ces deux composés, d'abord mélangés indistinctement, tendront à se séparer lorsque la matière liquide restera en repos: alors il se formera une cristallisation, dans laquelle les molécules des deux composés s'arrangeront suivant leur affinité respective ou leur degré de pesanteur.

Que l'on trempe dans de l'eau acidulée une lame faite avec de l'acier ainsi préparé, il se développera un damassé très-apparent, dans lequel les parties d'acier pur seront noires, et celles d'acier carburé resteront blanches, parce que l'eau acidulée met plus difficilement à nu le carbone de l'acier carburé.

Le carbone irrégulièrement réparti dans le métal et formant deux combinaisons distinctes est donc ce qui donne lieu au damassé, et l'on conçoit aisément que plus le refroidissement est lent, plus les veines damassées doivent être larges: c'est pour cette raison qu'il faut peut-être éviter de fondre des masses trop considérables, ou bien il faudra apporter quelque modification au procédé. A l'appui de mon opinion, je crois devoir citer Tavernier, qui dans son *Voyage en*

(1) On sait que les scies doivent avoir des dents plus ou moins larges, suivant la dureté des substances auxquelles elles sont appliquées. C'est par la même raison que l'acier qui convient le mieux aux instrumens destinés à couper les chaires molles doit être différent de celui qui convient particulièrement aux limes, aux burins, aux rasoirs, etc.

Perse, a donné quelques renseignemens qui nous font connaître la grosseur des billes d'acier qui, de son temps, étaient employées à la fabrication des lames damassées :

« L'acier susceptible d'être damassé vient, dit-il, du royaume de Golconde; il se trouve, dans le commerce, en pains de la grosseur d'un pain d'un sou; on les coupe en deux pour voir s'ils sont de bonne qualité, et avec chacune des deux moitiés on fait une lame de sabre. »

D'après ce récit, il est évident que cet acier de Golconde était en culots comme le *wooltz*, et que les culots ne devaient pas peser plus de 2 ou 3 kilogrammes.

Tavernier ajoute que, si dans la trempe de cet acier on suivait les procédés d'Europe, il se briserait comme du verre. On doit conclure de là qu'il est très-difficile à forger, et Réaumur en a fait l'observation.

Ce savant, ayant reçu du Caire des échantillons d'acier indien, ne trouva personne, à Paris, qui pût les forger. A ce sujet, il déclare que ce doit être la faute de nos ouvriers, puisque les Orientaux parviennent à travailler cette espèce d'acier. J'expliquerai bientôt comment il faut procéder pour réussir.

Comme le carbone a la principale influence non-seulement sur le damassé de l'acier, mais encore sur ses qualités intrinsèques, il est à craindre que MM. Stodart et Faraday n'aient été induits en erreur dans leur travail, ainsi que je l'ai été moi-même long-temps, et qu'ils n'aient attribué à des alliages métalliques des effets dus plus particulièrement à une proportion plus considérable de carbone.

Je suis très-éloigné de contester l'existence des

alliages métalliques dans les sabres orientaux, bien que dans le peu de fragmens que j'ai eu occasion d'analyser je n'aie trouvé ni argent, ni or, ni palladium, ni rhodium; il me semble néanmoins très-probable que diverses combinaisons auroient été tentées. En effet, le même peuple qui était parvenu à durcir le cuivre par des alliages n'a-t-il pas dû, par analogie, essayer le même procédé sur le fer?

Cette façon de voir m'a conduit à former divers alliages métalliques, dont quelques-uns m'ont donné des résultats satisfaisans. Une des lames de sabre que j'ai présentées à l'Exposition contient un demi pour cent de platine, et une proportion plus considérable de carbone que dans les aciers ordinaires; c'est à cet excès de carbone qu'est particulièrement dû son damassé. D'excellens rasoirs ont été faits avec le même alliage.

Quoi qu'il en soit, je conseille de ne faire l'essai de ces alliages qu'après s'être bien assuré des effets du carbone pur, et de commencer par des combinaisons en très-petites proportions. L'addition d'un métal rend l'acier plus cassant; j'ai cependant obtenu des alliages ductiles, en portant l'or et le platine jusqu'à 1/4 pour 100, et le cuivre et le zinc jusqu'à 2.

Quant au zinc, je dois avertir qu'il y a quelques précautions à prendre lorsqu'on veut l'employer dans l'alliage; il détonne fortement si l'on le jette dans le bain que de très-petites portions. J'ajouterais qu'en forgeant l'acier allié de zinc, une partie du métal volatil se dissipe.

Le manganèse s'unit facilement à l'acier; et l'alliage se forge aisément; mais il est très-cas-

sant à froid; j'en ai fait des burins qui enta-
maient le fer sans avoir été trempés : le damassé
qui en résulte est très-noir et très-prononcé.

La plombagine m'a paru, dans quelques cir-
constances, adoucir l'acier qu'un excès de car-
bone rendrait trop aigre : du moins j'ai obtenu
d'excellens résultats de cent parties d'acier, une
de noir de fumée et une de plombagine.

Mais une expérience fort remarquable par le
parti qu'on pourrait en tirer dans un travail en
grand, c'est que cent parties de fer doux et deux
de noir de fumée fondent aussi facilement que
l'acier ordinaire (1). Quelques-unes de nos meil-
leures lames sont le produit de cette combinaison :
elle a l'inconvénient de prendre beaucoup de re-
trait par le refroidissement, et les culots ont le
plus souvent des cavités qui les rendent très-dif-
ficiles à forger ; mais si, au lieu d'acier damassé,
on voulait se borner à faire de l'acier ordinaire,
on éviterait le retrait opéré par le refroidissement,
en coulant cet acier dans une lingotière.

On voit, par cette expérience, qu'il n'est pas
nécessaire, pour obtenir de très-bon acier, de
commencer l'opération par cémenter le fer. On
peut le traiter de suite avec le noir de fumée,
ce qui diminuerait beaucoup les frais de fabri-
cation.

Cent parties de limaille de fonte très-grise et
cent parties de pareille limaille préalablement
oxidée ont produit un acier d'un beau damassé
et propre à la fabrication des armes blanches. Il
est remarquable par son élasticité, qualité pré-
cieuse dont ne jouit pas l'acier de l'Inde (2). Plus

(1) On doit supposer que la totalité du charbon n'entre
pas en combinaison.

(2) J'ai toujours opéré sur un ou deux kilogrammes.

la proportion de fonte oxidée est forte, plus l'a-
cier est nerveux. L'oxigène se portant sur les mé-
taux terreux et sur une partie du carbone, on
conçoit que plus il y aura d'oxide, plus le résul-
tat aura de ductilité; mais aussi moins il sera dur.

Les fontes les plus noires réussissent le mieux.
Je suis convaincu qu'avec des semblables fontes on
pourrait fabriquer très-en grand de l'acier fondu
dans des fourneaux à réverbère, en suivant un
procédé analogue à celui de l'épuration du métal
de cloches, c'est-à-dire en ajoutant au métal en
fusion une portion du même métal oxidé; ou,
mieux encore, de l'oxide de fer naturel.

Il me paraît également possible de convertir en
acier fondu la totalité du produit des forges à la
catalane, en faisant à la construction des four-
neaux des changemens qui permettraient d'ache-
ver la fusion du métal. Il me semble que si j'avais
à conduire une de ces forges, je réussirais à trou-
ver le moyen de fabriquer avec beaucoup d'éco-
nomie les qualités d'acier les plus désirables.

J'ai toujours eu soin de bien remuer la matière
en fusion avant de la laisser refroidir; cela est in-
dispensable lorsqu'on fait des alliages métalli-
ques, autrement le damassé n'est pas homogène.

C'est après avoir tenté la combinaison de l'a-
cier avec la silice et l'alumine, amenées à l'état
métallique, que je m'aperçus de l'influence du
carbone dans la production du damassé : dès-lors
j'eus soin d'employer toujours le charbon de noir
de fumée.

Si dans l'analyse des aciers que j'ai fondus il
se trouvait quelques terres, il faudrait supposer
qu'elles proviennent de la fonte employée, ou
du fer, de la plombagine, ou enfin des creusets.

Plus l'acier contient de carbone, plus il est dif-

ficile à forger. La plupart de ceux que j'ai préparés n'ont pu être étirés qu'à une température dont les limites sont assez resserrées. Chauffés au rouge blanc, ils s'émiettent sous le marteau; au rouge cerise, ils deviennent durs et cassans, et cette disposition augmente en proportion de l'abaissement de température: de telle sorte qu'une fois parvenus au-dessous du rouge cerise, si on veut en enlever une portion avec le burin ou la lime, on les trouve beaucoup plus durs et plus cassans qu'après leur entier refroidissement.

Il est évident que les aciers de l'Inde, que la plupart de nos ouvriers ne peuvent étirer, sont dans le même cas; et si les Orientaux les travaillent sans peine, c'est qu'ils connaissent les limites de la température qui leur convient.

Je me suis assuré, par l'expérience, que les veines orbiculaires, que les ouvriers appellent *ronces*, et qui se voient sur les belles lames orientales, sont le résultat de la manière de forger. Si on se contente d'étirer l'acier en long, les veines seront longitudinales; si on l'étend également en tous sens, le damassé a une apparence cristalline; si on le rend onduleux dans les deux sens, il y aura des nuances comme au damas d'Orient. Il ne faudra pas de longs essais pour arriver à produire tel dessin de moiré que l'on voudra.

Quant au procédé à suivre pour développer le damassé de manière que l'acier puisse devenir noir ou blenâtre sans perdre son poli, celui qui m'a paru le meilleur est celui des Orientaux. M. le vicomte Héricart de Thury en a donné la description dans un rapport inséré au *Bulletin de la Société d'Encouragement*, Numéro ccx, décembre 1821, vingtième année, page 361.

MÉMOIRE

SUR

LES DEUX FORGES CATALANÈS DE GINCLA ET DE SAHORRE;

Par M. COMBES, Ingénieur au Corps royal des Mines.

§ 1^{er}. — Forge de Gincla.

L'USINE de Gincla est située dans le canton de Roquefort, arrondissement de Limoux, département de l'Aude, à 3 myriamètres sud-est de Quillan, sur la Bousanne, petite rivière dont les eaux sont peu abondantes dans les temps secs. On ne peut y aborder qu'en traversant des montagnes assez élevées, où il n'existe aucun chemin praticable pour les voitures. Les produits sont transportés à dos de mulets jusqu'à Quillan, d'où une grande route les conduit à Carcassonne; de là ils sont expédiés dans les lieux de consommation, qui sont principalement de Bordeaux à Toulon. Je crois cependant qu'il y a un chemin de Gincla à Caudiès, où peuvent passer des charrettes à voie très-étroite. Quoi qu'il en soit, on évalue le prix du transport du fer de Gincla à Carcassonne, à 2 fr. 50 c. ou 3 fr. par quintal métrique.

Le minerai que l'on traite est pris maintenant en totalité aux mines de Fillols, arrondissement de Prades, département des Pyrénées-Orientales. M. Rivals, propriétaire des forges, est aussi con-

Situation de
l'usine par
rapport au
combustible
et au mine-
rai.