

COMMUNICATIONS DES 5, 6 ET 7 OCTOBRE 1922

- Communication de M. C. Kluytmans / Quelques facteurs influant sur la qualité et la résistance des fontes pendant la fusion des cubilots.
- Communication de M. J. Seigle : Etude thermique des cubilots.
- Communication de M. J. Seigle : Note sur la réception des fontes.
- Communication de M. E. Ronceray : L'état actuel de la question des nouvelles méthodes d'essais des fontes.
- Communications de MM. M. Rémy et L. Piedbœuf, délégués techniques de l'Union des Fondeurs de Malléable de Herstal : Contributions à l'étude des conditions d'essai de la Malléable.
- Communication de M. Levoz : Le Manuel pratique de l'opérateur du petit convertisseur à soufflage latéral.
- Communication de M. Brasseur : La Fonderie de bronze au four électrique.
- Communication de M. A. Portevin : L'influence du phosphore dans les laitons.
- Communication de M. de Fleury : «L'ALPLAX», nouvel alliage léger de fonderie à haute résistance et ses emplois.



ASSOCIATION TECHNIQUE DE FONDERIE

10, Rue de Lancry, 10 — PARIS (X^e)

Droits de reproduction réservés. — Les communications publiées dans ce bulletin n'engagent que leurs auteurs.

Congrès de Fonderie de Nancy

Organisé par l'Association Technique de Fonderie, les 5, 6, 7 et 8 Octobre 1922.

Le Compte rendu sténographié du Congrès sera donné dans le numéro de Décembre de la Fonderie Moderne. Nous donnons ci-après le texte des mémoires dans l'ordre où ils ont été présentés. Leur discussion sera publiée ultérieurement.

QUELQUES IDÉES

pouvant servir à obtenir des

MOULAGES FORTS

par M. CHRISTIAN KLUYTMANS

Dans cette suite de remarques, je me suis appliqué à me rapprocher de la pratique tout en restant dans les limites scientifiques permises.

Sans vouloir faire un reproche aux fondeurs français j'ai, malheureusement, constaté que les pays étrangers se servaient de la science d'une façon plus appliquée que nous ne la faisons en France, ceci à notre grand détriment.

Aussi les lignes qui vont suivre sont-elles un appel à tous les fondeurs pour qu'ils veuillent faire bon

accueil aux Laboratoires qui sont à leur disposition et de plus, travailler en collaboration avec le métallurgiste, lequel connaît intimement toutes les réactions, combinaisons, et lois chimiques et physiques qui régissent le métal.

Ce qu'il faut donc en fonderie c'est l'entente entre le mouleux, le mouleur et le métallurgiste. Si ces trois facteurs s'entendent et ne travaillent que dans un but commun qui est : « maximum de travail et quantité, donc prix de revient minimum », le succès sera assuré.

DE L'ÉTAT DE L'AIR. — Peut être sec ou humide suivant le temps. Nous ne parlerons de l'air sec que pour en donner la composition bien connue.

Oxygène	23 0/0
Azote	77 0/0

qui est la composition pratique adoptée par un temps sec et même pluvieux. Dans ce dernier cas l'air sera légèrement chargé de vapeur d'eau, mais peut être négligé, étant donné que les prises d'air sont à l'abri généralement derrière le cubilot.

Maintenant si nous avons un temps brumeux,

comme il m'est arrivé d'en constater étant en Angleterre, où il est impossible de se reconnaître à deux mètres, alors nous ne pouvons nous opposer à cette surcharge d'eau que contient l'air et qui passe par le ventilateur pour être dirigée dans le cubilot.

Cette proportion d'eau, qui n'est pas de la vapeur, mais de fines gouttelettes très divisées et en suspension, peut atteindre un pourcentage gênant. Nous savons que l'eau est une combinaison d'hydrogène et d'oxygène; pour décomposer à nouveau cette eau en hydrogène et en oxygène il nous faudra

un certain nombre de calories qui sera emprunté au combustible et le pire est que cette décomposition se produira dans la zone de fusion, d'où risque d'oxyder la fonte.

Pour les pays brumeux il est utile de se munir d'un dispositif de filtration d'air ayant pour but de la débarrasser de ses particules solides et de l'humidité qui s'y trouve à l'état de mélange.

VENTILATEUR. — Autant que possible éviter de placer des braseres de coke auprès des ventilateurs. Ils dégagent CO² qui peut être entraîné au cubilot.

DU VOLUME D'AIR. — Cette question est une des plus importantes et nous nous placerons au point de vue oxygène à envoyer dans le cubilot.

Actuellement lorsque l'on veut installer une fonderie l'on se préoccupe de savoir qu'elle sera la production, ensuite quelle dimension de cubilot sera nécessaire et c'est tout.

Du ventilateur, personne n'en parle. De la quantité d'air, par rapport au coke, nul n'en a souci.

Donc la commande se fait et l'installation finie on allume, on donne le vent, on fond, on coule, on consomme et on rebute des moulages. Les causes nous les verrons plus loin.

Eh bien, personnellement, je m'occupe : 1^o de la production horaire ; 2^o du ventilateur ; 3^o du coke ; 4^o du cubilot.

Je m'explique. La production horaire est nécessaire pour savoir combien d'air nous aurons à envoyer dans le cubilot pour brûler une quantité maximum de coke (par rapport à l'air), pour qu'il liquéfie le maximum de fonte dans un temps donné.

Ensuite les dimensions du cubilot seront déterminées d'après les trois facteurs : fonte, volume d'air et poids de coke. « On peut donc dire que l'air est le régisseur général de la fonderie. »

D'après la composition de l'air nous allons déterminer la quantité d'oxygène qui nous sera nécessaire pour les réactions principales se passant au cubilot. Nous savons donc que pour avoir 1 volume d'oxygène il nous faudra envoyer 4,347 volumes d'air au cubilot.

Sachant cela il nous sera facile de connaître la quantité de coke que nous pouvons brûler ayant un ventilateur débitant un volume X d'air.

Malgré cela il nous faut connaître la composition du coke et d'après son analyse savoir la quantité d'oxygène utile à sa combustion.

Prenons donc deux coques, un de bonne qualité et un autre de qualité très inférieure. Je dis très inférieure pour démontrer les différences en oxygène utile.

Coke de bonne qualité de composition suivante :

Carbone fixe	92	o/o	soit par k.	0,920
Soufre	0,25	o/o	—	0,0025
Matières volatiles ...	1	o/o	—	0,01
Cendres	6	o/o	—	0,06
Humidité	1	o/o	—	0,01

ASPECT. — Métallique, gris argenté à la fracture, sonore, grain assez pur et résistant bien à la pression.

En nous servant des facteurs correspondants aux différentes réactions, nous aurons en oxygène :

Carbone en CO ² = 0,920 × 2,67	2,46
Soufre en SO ² = 0,0025 × 1	0,0025
M ^{res} V ^{res} 40 o/o en CO ² = 0,01 × 40 × 0,57	0,0024

Cendres qui sont à l'état de combinaison dans le coke et donnent l'analyse suivante après oxydation :

SiO ² 56 %	soit	0,56 × 0,06 = 0,0336	× 0,14 = 0,0383
Al ² O ³ 30	—	0,30 × 0,06 = 0,018	× 0,88 = 0,0160
Fe ² O ³ 8	—	0,08 × 0,06 = 0,0048	× 0,43 = 0,0018
CaO 2	—	0,02 × 0,06 = 0,0012	× 0,40 = 0,0004
MgO 1	—	0,01 × 0,06 = 0,0006	× 1,50 = 0,0009

Pour brûler un kilo de coke la quantité d'oxygène sera de 2,5123, soit une quantité de 2,5123 × 4,343 = 10,92 en poids d'air. Ceci s'entend pour un coke de bonne qualité dont la combinaison avec l'oxygène donnera de 7.000 à 7.100 calories.

Maintenant si nous avons un coke de qualité très inférieure voyons un peu ce qui va se produire au point de vue « oxygène ».

Soit un coke ayant la composition suivante :

Carbone fixe	82	o/o	soit au k.	0,820
Soufre	1,3	—	—	0,013
Cendres	12,50	—	—	0,125
Humidité	3	—	—	0,03

En appliquant les mêmes facteurs nous obtenons :

Carbone en CO ² 0,82 × 2,67	2,18
Soufre en SO ² 0,13 × 1	0,13
M ^{res} Volatiles 0,01 × 0,40 × 0,57	0,002
Cendres :	
SiO ² = 0,125 × 0,56 × 1,44	0,979
Al ² O ³ = 0,125 × 0,30 × 0,88	0,933
Fe ² O ³ = 0,125 × 0,08 × 0,43	0,0043
CaO = 0,125 × 0,02 × 0,40	0,001
MgO = 0,125 × 0,01 × 1,50	0,0018
Soit en oxygène.....	2,4311

Donc un poids d'air par kilo de coke de :

$$2,4311 \times 4,347 = 10,56$$

ceci pour obtenir un pouvoir calorifique de 6.625 calories soit 500 calories de moins que le coke de bonne qualité.

Si nous ramenons les poids d'air en volumes nous aurons :

Pour le coke de bonne qualité $\frac{10920}{1,3(1)} = 8 \text{ m}^3 400$;

Pour le coke inférieur $\frac{10560}{1,3} = 8 \text{ m}^3 123$;

soit par tonne de fonte une différence de 27 mètres cubes qui, quoique déterminé théoriquement, existe réellement en pratique, malgré qu'il est admis que le ventilateur doit donner de 10 à 12 mètres cubes par kilo de coke, ce qui est une quantité grandement supérieure à ce que demande la théorie.

Supposons que nous ayons 10 mètres cubes par kilo de coke et que nous soyons arrivés à un minimum de coke par tonne de fonte avec ces 10 mètres cubes (coke de bonne qualité bien entendu).

Si nous chargeons l'autre coke, notre production tombera par suite d'insuffisance de chaleur. L'air n'ayant pas été entièrement employé par le coke, restera en excès et oxydera la fonte.

Ceci est indépendant de la machine soufflante, mais il était nécessaire de montrer que la qualité d'air était en relation avec la qualité du coke.

Comme le volume d'air ne peut être changé en cours de fusion le seul remède, si l'on se trouve à changer de coke, est d'en augmenter la charge en diminuant les charges de fonte; il est vrai que ceci entraîne toute la lyre des ennuis, tels descente du lit du coke, déplacement de la zone de fusion, refroidissement, fusion plus lente, oxydation, bref, ennuis qui sont bien connus de tous.

Peut-être pourrions-nous changer la pression, ceci dépendra de la consistance du coke. Étant friable, il se tassera, l'air passera plus difficilement, une pression supérieure nous sera nécessaire pour vaincre cette résistance, un des inconvénients sera la formation de conduits dans le lit de coke par le vent, ce qui brûlera le coke rapidement risquant d'oxyder le métal, sans compter la perte de chaleur par le gueulard.

Nous ne faisons pas entrer en ligne de compte l'oxygène qui pourrait être nécessaire aux réactions des fondants, ces réactions étant corollaires de la réaction principale du coke en CO^2 . Nous verrons plus loin l'importance des fondants.

POSITION DU VENTILATEUR. — Le plus près du cubilot sera naturellement la meilleure place. Plus il en sera éloigné plus il sera nécessaire d'augmenter le diamètre des conduites de vent pour éviter les pertes de pression et de volume d'air pour un temps

donné, ou plus exactement cette augmentation du diamètre sera nécessaire pour maintenir la pression et le volume d'air utiles à une combustion parfaite pour une production maximum.

Il est connu que le diamètre des conduites d'air doit être supérieur à celui de l'orifice de sortie du ventilateur.

Suivant la distance du cubilot au ventilateur ce dernier sera d'un débit plus ou moins fort de façon à compenser les pertes dues au parcours du vent.

Pour un ventilateur de débit connu, dont les conduites du vent sont calculées pour obtenir un volume correspondant aux charges de coke, utiles à la fusion pour un temps donné, il sera absolument nécessaire de conformer les charges par rapport à ce volume d'air.

Ceci peut paraître paradoxal, mais nous avons cité un exemple plus haut et nous trouvons une différence de 27 m³ d'air par tonne de fonte pour deux qualités de coke; nous avons également dit que nous ne devons pas changer le volume d'air étant en marche, et de plus qu'un changement de pression pouvait amener des ennuis sérieux. Alors que faut-il faire ?

A mon avis c'est très simple. Je me conformerais aux exigences de l'air en ne lui donnant qu'un combustible ne lui permettant pas d'être en excès ou en moindre qualité.

Je ne m'étendrai pas sur les détails des ventilateurs, ainsi que sur les dimensions des conduites d'air et boîte à vent; ceux-ci se trouvent sur les catalogues de toutes les bonnes firmes de cubilots.

A propos de tuyères, les uns disent le 1/10^e de la surface du plus grand diamètre du cubilot, les autres le 1/7^e, d'autres encore, comme en Angleterre, le 1/5^e.

Difficile problème à résoudre. Personnellement le 1/5^e conviendrait le mieux, car en raison de l'encrassement possible (qui ne doit pas se produire) des tuyères, la pression n'augmente pas brusquement; il est toujours plus facile de diminuer la surface d'une tuyère que de l'augmenter.

Je ne saurais trop recommander la vérification constante du volume et pression de l'air. Des indicateurs de volume et pression seront donc utiles.

Je ne parle pas des ventimètres, anémomètres ou tube de Pitot, mais bien d'indicateurs permettant de vérifier d'un coup d'œil, n'importe quand, par n'importe qui, et d'en conserver le diagramme.

D'autre part un ventilateur bien réglé doit toujours donner dans les mêmes conditions et il est inadmissible que la première fonte soit mauvaise et que la dernière soit oxydée ou brûlée;

(1) Le poids du litre d'air est exactement 1,2934; nous avons pris 1,3 pour faciliter les calculs.

je parle d'un cubilot en service et non allumé pour la première fois.

Maintenant il y a la répartition de ce volume d'air de façon à obtenir le maximum de combustion et ne pas s'exposer à voir CO s'échapper au gueulard; la disposition des tuyères devra être telle que l'air arrive de tous les côtés.

La question est aussi de savoir si l'on doit avoir une ou deux rangées de tuyères superposées. Supposons que, par suite de changement irrégulier, il se produise des accrochages au-dessus des tuyères: ceci sera vite repéré par le cubilotier, car en vérifiant les tuyères il verra que le coke au lieu d'être incandescent sera noir et obstruera la tuyère, s'il déplace ce coke et qu'il n'y ait pas remplissage, il y aura certainement un accrochage au-dessus de la tuyère.

Le remède sera donc d'arrêter le vent à cette tuyère, pour en éviter l'effet refroidissant.

Ceci est parfait si nous avons deux rangées de tuyères, la rangée saine servira à la fusion de cet accrochage, quitte à déplacer la zone de fusion pour un certain moment et à la remonter ou la descendre ensuite. Si nous n'avons qu'une rangée incriminée, augmenter le volume de l'accrochage. Dans ce cas le seul remède sera de charger plus en combustible le côté accroché.

Ceci n'est qu'un simple exemple. D'autre part nous savons tous que les tuyères ne doivent pas dépasser les garnissages sous peine d'amorcer les accrochages.

Pour en terminer avec le chapitre « vent » nous partirons du principe suivant.

Le ventilateur donne un volume déterminé d'air par seconde à une pression de « X », le cubilot doit donc brûler « N » poids de coke, produisant un nombre de calories utiles à liquéfier un tonnage « Z » de fonte.

Si le fondeur veut se conformer à ce principe il verra que sa production augmentera :

1^o Parce qu'il saura exactement combien son ventilateur peut brûler de coke au maximum;

2^o Combien ce maximum de coke peut produire de fonte liquide.

Si ces résultats, largement calculés, ne se réalisent pas, c'est que certainement un des facteurs que nous allons décrire plus loin n'en est pas observé.

Nous savons très bien que beaucoup de fondeurs ne cherchent que la production. Ils ont un cubilot d'un diamètre quelconque et il leur a été dit que le rendement était supposons 5 tonnes. Eh bien, il leur faut leurs 5 tonnes. Qu'importe le coke, les garnissages et les rebuts, ce qu'il faut ce sont les 5 tonnes. Erreur, grande erreur, il serait préférable

d'avoir 4 tonnes en utilisant à son maximum l'air envoyé dans le cubilot et ne consommer que 9 à 10 0/0 de coke, au lieu de 12 à 15 0/0 comme cela se produit souvent.

Partant du principe que l'air envoyé par le ventilateur est constant, si le fondeur remarque quelque chose d'anormal c'est que l'un des facteurs suivants, en supposant que le départ fût parfait, a été modifié en cours de marche :

1^o Dimensions et forme du cubilot ;

2^o Répartition des charges par rapport à chaque charge et par rapport au poids de combustible;

3^o Charge de fonte par rapport au poids de fondant.

DIMENSIONS ET FORME DES CUBILOTS. — La hauteur admise est de 4 fois le diamètre. Un minimum de 5 fois serait préférable, la hauteur permettant à CO de brûler, d'où récupération de chaleur.

Ici les dimensions nous importent peu car, quelles que soient ces dimensions, les défauts résultant d'une mauvaise conduite de cubilot s'appliquent aussi bien aux petits qu'aux grands.

En cours de fusion nous pouvons avoir les augmentations ou diminutions de diamètre.

En nous rapportant au volume d'air, une augmentation de diamètre diminuera la pression, mais comme cette augmentation diminuera l'épaisseur de la couche de coke, la pression sera trop forte.

Pour une diminution de diamètre l'inverse se présentera.

L'augmentation de diamètre peut avoir pour cause un excès de fondant et la diminution sera causée par l'accrochage.

Si un indicateur de vent est installé le moindre dérangement dans la fusion sera signalé, il sera donc facile de faire le nécessaire avant que des accidents sérieux en résultent.

RÉPARTITION DES CHARGES. — Nous savons que les charges sont proportionnelles aux dimensions du cubilot, mais pour en revenir au débit de l'air, nous déterminerons la quantité de coke qu'il est possible de brûler par heure et d'après nos calculs nous en diminuerons la quantité de fonte à mélanger à ce coke. Tout changement entraînera une variation dans le volume d'air.

Par exemple un ventilateur souffle 3.600 m³ d'air à l'heure, soit une quantité suffisante pour brûler 400 kilos de coke à l'heure; nous savons donc que la combustion de ces 400 kilos de coke devra nous liquéfier 4.000 kilos de fonte mécanique à l'heure, l'on remarquera que 10 0/0 de combustible pour de la fonte mécanique est un maximum qu'il n'est pas permis de dépasser, le mélange se liquéfiant

plus facilement qu'un mélange destiné à de la fonte pour lingotière, ceci provenant de la teneur en phosphore qui, comme nous le savons, baisse le point de fusion et la rend plus liquide.

Donc pour en revenir à notre ventilateur, nous savons qu'il doit nous donner 4 tonnes, si pour une cause quelconque nous n'obtenons pas nos 4 tonnes nous devons la chercher immédiatement.

Ne nous occupant que des charges dans ce chapitre, nous ne nous occuperons que des effets provenant des différences de charges.

a) MÉTAL SORTANT FROID ET LENTEMENT. — Charge de fonte trop forte par rapport à la quantité de coke ou pour une charge correcte de fonte, morceaux trop gros.

La charge de fonte étant trop lourde le remède est de la diminuer et n'est pas d'augmenter la charge de coke. Il est facile de comprendre que si nous avons un ventilateur donnant un volume d'air correspondant à la combustion d'un poids de coke, nous ne pourrions augmenter ce poids de coke sans augmenter le volume d'air. Comme ce dernier remède est pire que le mal, et amènerait des accidents plus grands, il faut donc diminuer le poids de fonte et la ramener dans les proportions normales établies par le ventilateur.

D'autre part nous aurons un déplacement de la zone de fusion qui sera descendue, étant donné que le coke nécessaire à la fusion du surplus de fonte chargée sera pris sur le lit.

Si le cubilot a deux rangées de tuyères, supprimer celle du haut et mettre le vent à celle du bas, augmenter la charge de coke et diminuer celle de fonte, au-dessous de la charge normale et non de la charge anormale constatée et ne mettre le vent aux tuyères supérieures que lorsque la fausse charge de coke sera descendue de façon à remonter la zone de fusion à la place où elle doit être en marche normale.

b) ZONE DE FUSION MONTE-FUSION IRRÉGULIÈRE. — Charges de coke trop fortes. Combustion incomplète. Le remède est facile.

c) POIDS ANORMAL DES GUEUSES. — Parfois les charges sont normales, mais des morceaux de métal ont un poids anormal; il y aura donc retard dans la fusion d'où un métal froid.

Au début de l'allumage du cubilot nous recommandons de ne fondre que des morceaux très divisés; lorsque le cubilot sera en pleine marche et suffisamment échauffé, l'on peut risquer des morceaux de 40 à 50 kilos; dans ce cas il est nécessaire d'en amorcer la fusion en les entourant de boccages de petites dimensions qui fondent les premiers et

échauffent les grosses masses jusqu'à la fusion.

La répartition de la charge a également une influence sur le résultat final. Une surveillance stricte doit être établie pour obtenir que les charges soient réparties selon les règles définies.

Des instructions seront données aux chargeurs et sous aucun prétexte ils ne devront y contrevenir.

Épaisseurs de charges régulières, tant en fonte, en coke qu'en fondant.

FONTE. — Gros morceaux au centre, petits morceaux à l'extérieur (contre les parois du cubilot).

COKE. — Même disposition.

c) DÉTERMINATION DU POIDS DES CHARGES. — Nous avons dit que le ventilateur servant d'exemple donnait 3.600 m³ d'air à l'heure dont la capacité de combustion correspondait à 400 kilos de coke de porosité moyenne; nous aurons donc 2.800.000 calories, soit un peu plus du double qu'il en faut théoriquement pour liquéfier 4 tonnes de fonte ($300.000 \times 4 = 1.200.000$); cet excès de calories nous sera nécessaire pour compenser les pertes suivantes.

1. Combustion incomplète de CO qui s'échappe dans les gaz du gueulard dans la proportion de 15 à 18 0/0.

2. Perte par radiation.

D'autre part, comme nous l'avons déjà dit, il va nous falloir tenir compte de la consistance du coke, dur ou friable. Un coke dur et poreux nous facilitera la besogne; un coke lourd et friable sera à éviter.

Nous ne parlerons donc que du premier. La densité sera donc environ de 0,500 à 0,600; sa résistance à l'écrasement devra être suffisante pour ne pas s'affaisser sous la charge.

Ceci est important pour le lit de coke.

Notre cubilot ayant 0 m. 90 de diamètre et 4 m. 50 de hauteur le lit de coke variera en poids suivant la disposition des tuyères. Avec une seule rangée de tuyères nous aurons vers 300 kilos de coke; avec deux rangées il nous faudra 400 kilos, ce qui nous fera un lit de 0 m. 90 à 1 mètre. Avant de pouvoir établir quel sera le poids de chaque charge, il nous faut connaître la vitesse de combustion du coke sous une pression donnée.

La pratique admet qu'au début nous aurons une combustion lente, naturellement plus lente qu'après 4 heures de marche; donc nous nous voyons dans l'obligation de diminuer légèrement les charges de fonte, ce qui augmentera proportionnellement celles de coke. Pour ensuite, lorsque le cubilot sera échauffé, augmenter progressivement les charges de fonte.

Donc, comme début nous admettrons qu'il faille

de 6 à 7 minutes pour la combustion de 50 kilos de coke qui nous donneront 400 kilos de fonte. Plus nous avancerons dans la fusion, plus elle sera rapide en raison de l'échauffement des parois. Donc si nous composons notre charge comme suit au début :

Fonte	400
Coke	50

pour continuer par fonte 500 et même 600 kilos, pour coke 50, nous arriverons au résultat cherché.

3° *Charge de fonte par rapport au poids de fondant.*

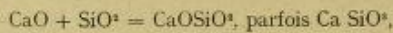
Le carbonate de chaux est le fondant générale-ment employé et répondant à la formule suivante :

CaCO ³	93 0/0
SiO ²	3,50
Fe ² O ³	1,25
Al ² O ³	
MgO	2,25

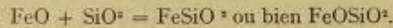
La décomposition du fondant commence par la chaleur avec dégagement de CO² d'après la formule : CaCO³ = CaO + CO².

Il nous restera donc de la chaux (CaO) qui descendra : cette chaux a une grande affinité pour la silice (SiO²) et c'est justement cette affinité qui nous est de grande utilité pour nous débarrasser des cendres du coke et sables chargés.

Le combinaison chaux-silice se fera d'après l'équation suivante :



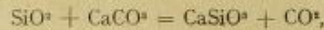
si parfois l'air est en excès nous aurons :



Pour en revenir à la charge de castine, si elle est normale notre composition cherchée ne subira aucune modification mais si le fondant est en excès, étant donné son affinité pour le silicium, nous verrons celui-ci diminuer dans la fonte proportionnellement au surplus de fondant ajouté.

Comment savoir exactement la proportion de fondant à ajouter, car il ne s'agit pas d'en mettre à vue de nez, mais d'en déterminer, d'abord théoriquement et ensuite pratiquement, la quantité utile à scorifier la silice en excès et les cendres du coke.

Nous partirons donc de l'équation suivante :



donc par 60 (poids moléculaire) de silice (SiO²) il nous faudra 100 de carbonate de chaux (CaCO³), soit pour 1 de silice 1,66 de castine pour la scorifier.

Il sera donc nécessaire de connaître la quantité de silice chargée dans le cubilot.

Nous aurons donc les cendres de coke et les sables d'adhérence provenant des jets, masselottes, rebuts, gueuses, etc. Les cendres sont faciles à déterminer : admettons 10 0/0 quant au sable d'adhérence il varie énormément suivant les fonderies ; pour donner un exemple nous dirons de 1,5 à 2 0/0, soit 20 kilos par tonne, ce qui nous donnera 100 kilos de coke à 10 0/0 de cendres, soit : 10 kilos à scorifier,

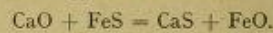
1.000 kilos de fonte à 2 0/0 de sable,
Soit 20 kilos à scorifier.

D'autre part nous avons l'oxydation du silicium et du manganèse qui est de 10 0/0 de leur teneur : mettons silicium 2,20 0/0 pour obtenir 2 0/0, soit 0,20 0/0 d'oxyde, donc 2 kilos par tonne. Le Mn comptera pour la moitié, soit 1 kilo ; nous aurons donc un total de 33 kilos à scorifier :

$$33 \times 1,66 = 54,78.$$

Donc si par erreur nous chargeons à 75 kilos par tonne nous aurons 20 kilos qui s'occuperont après le silicium des briques de garnissage (70 0/0 SiO² et 30 0/0 Al²O³) et de la fonte chargée. Le poids de 55 kilos est un maximum à employer avec des jets et gueuses qui n'ont pas été nettoyés. L'on peut arriver à 25 kilos avec des charges presque exemptes de sable.

D'autre part un léger excès est utile pour désulfurer la réaction se passant comme suit :



Étant donné la basse température de combinaison de la silice et chaux, vers 980° C., la quantité de fondant doit être réglée très minutieusement pour les fontes phosphoreuses.

En dehors des observations faites plus haut il y a celles à faire sur la nature des scories.

Leur aspect, à défaut d'analyse, sera un premier guide sur la marche du cubilot.

La couleur peut aller du gris noir au vert foncé en passant par toute la gamme des bruns et brun-verdâtre suivant leur composition.

Le pourcentage de SiO² peut varier de 40 à 52 0/0

—	Fe ² O ³	—	15 à 25 0/0
—	Al ² O ³	—	13 à 2
—	CaO	—	25 à 13
—	MgO	—	1 à 2
—	MnO	—	15 à 2
—	CaS	—	0,5 à 0

La question de fluidité influe surtout, des collages étant à craindre, il sera important de bien calculer le fondant à ajouter, non seulement pour scorifier

toutes les impuretés ajoutées aux charges mais encore d'obtenir des crasses bien liquides.

A ce point de vue elles faciliteront le décrassage. Comme conclusions premières tout ce qui vient d'être dit ne sont, hélas! que des généralités, qui, sans varier beaucoup pour chaque cubilot, devront s'en écarter légèrement même pour deux cubilots de mêmes dimensions et de fabrication identique.

La fabrication des cubilots ne peut être faite en série ou plutôt une série de cubilots ne donnera pas les mêmes résultats en service, comme le ferait une série de machines, par exemple des fraiseuses.

Dans la mécanique les facteurs qui en régressent les mouvements, sont constants, le facteur humain qui est chargé de faire exécuter des mouvements à une machine est astreint aux formes et mouvements mécaniques originaux de cette machine et ne peut en dévier sous peine de faire de fausses manœuvres qui ne répondront pas au résultat cherché, lequel sera nul ou encore ne fonctionnera pas.

Dans un cubilot les facteurs peuvent varier, comme nous l'avons vu, suivant la nature des éléments qui lui sont fournis et leur quantité, mais aussi suivant le facteur humain.

Ce facteur humain a une influence intellectuelle énorme sur un cubilot et si je puis m'exprimer ainsi il lui transmet son intellectuelité. Sous son influence le cubilot vit, bien ou mal, suivant le cerveau qui le conduit.

Donc chaque cubilot doit être étudié, mis au point et une fois cette mise au point faite ne pas en sortir sous peine de s'exposer à des mécomptes qui se traduisent par des « loups » qui, en fin d'année, diminuent production et bénéfices.

TEMPÉRATURE DE COULÉE. — Peut varier suivant la nature des moulages. Les avis sont extrêmement partagés. Je me rappelle des coulées de cylindres de laminoirs où la discussion principale portait sur cette température de coulée. Chaud ou froid? Les uns chauds les autres froids et le comble c'est que, d'après leurs explications scientifiques, les deux parties sembleraient avoir raison. Pour obtenir des moulages forts faisant vers 25 kilos, il est très difficile d'établir une règle de température de coulée. Tout d'abord, il faut étudier la pièce à couler, ses épaisseurs, la disposition des jets et événements, la composition de la fonte, la relation carbone-silicium, la relation soufre-carbone; manganèse-soufre, la vitesse d'absorption de chaleur; parois du moule activant ou retardant le refroidissement. Problème excessivement difficile dont la solution ne peut être donnée sur des observations faites sur un et même sur des centaines de moulages.

Par-dessus tous ces facteurs nous aurons le fondeur qui joue le rôle le plus important et dont dépend le succès.

Malgré cela des essais peuvent être faits pour une forme de moulage jusqu'à ce que l'on obtienne des résultats forts.

Je me souviens, étant aux forges d'Hennebont, que le chef de fonderie (M. Tournier) obtenait couramment du 27 kilos et du 65 à 70 au choc sur des lingotières. Pourquoi? Parce qu'il était aussi arrivé empiriquement à trouver la température qui convenait. Le refroidissement était suffisant pour éviter la formation d'un excès de graphite laissant de ce fait une quantité de carbure de fer (carbone combiné) utile, pour obtenir une fonte forte.

Nous partirons donc de la forme des moulages et de ses épaisseurs ainsi que de ses exigences mécaniques ou physiques.

a) Les exigences mécaniques et physiques nous indiqueront la composition à couler.

b) La forme nous indiquera la température de coulée et la vitesse de refroidissement.

Occupons-nous donc de moulages exigeant de 25 à 27 kilos et 60 au choc, qui sont les plus difficiles à obtenir.

La composition sera exempte d'impuretés telles que phosphore et soufre, manganèse vers 0,750, le silicium de 1,70 à 2,25 et carbone total de 3,50 à 2,80 et suivant la forme de la pièce et ses épaisseurs nous ferons varier la relation carbone-silicium.

	% Si	% C	Température de coulée
Moulages minces . .	élevé	bas	chaude
Moulages moyens . .	moyen	moyen	médium
Moulages épais . . .	bas	élevé	basse

Ceci basé sur l'action graphitique du silicium sur le carbone.

Il est facile de comprendre que si le silicium précipite le carbone à l'état de graphite, cette précipitation se produit toujours à une température qui peut varier suivant la relation C-Si et est proportionnelle au temps resté à cette température.

Par exemple il nous faut pour un volume de X un temps N pour précipiter une certaine quantité de graphite sous l'action d'un pourcentage donné de silicium.

Si nous raccourcissons ce temps nous aurons moins de graphite; si nous l'allongeons nous aurons

plus de graphite, que faut-il faire pour raccourcir ou allonger ce temps ?

Simplement ou plutôt difficilement trouver la température de coulée correspondante à un temps de précipitation permettant d'obtenir une quantité de graphite ne nuisant pas aux exigences mécaniques demandées.

Comment arriver à trouver ce « laps de temps critique », car il ne faut pas oublier que tous nos actes sont subordonnés à un « temps critique » et il ne faut être ni en-dessous ni le dépasser.



Micrographie n° 1. — Carbure de fer en blanc.

La réussite dans tout dépend de ce « temps critique ».

En fonderie c'est la même chose. Si toutes les opérations sont faites au « moment critique » tout sera parfait.

Donc notre « laps de temps critique » doit être déterminé le plus scientifiquement possible, mais pour l'instant il est du domaine de l'empirisme et les plus forts sont ceux qui arrivent à faire du 27 kilos.

Je viens de dire « le plus scientifiquement possible » ; vous me permettrez donc d'entrer un peu dans cette science qui semble être comprise comme une panacée applicable à tous les maux de l'Art de la fonderie.

Non ! la science ne les guérit pas tous, mais aide à comprendre bien des insuccès et à y remédier sans tâtonnements.

Partant de la fonte, nous avons l'analyse qui nous renseigne sur ses constituants,

Malheureusement l'analyse ne nous dit rien sur la position qu'occupe ces constituants dans la masse du métal.

Il ne faut pas oublier qu'ils forment des combinaisons entre eux et qu'à nouveau ces combinaisons sont mélangées entre elles.

C'est justement la disposition de ce mélange qui fait une fonte forte ou faible. La fracture et la structure nous le montreront.

Il ne faut pas confondre structure avec fracture, celle-ci signifiant la visibilité de la surface de deux tronçons provenant de la rupture d'un morceau de fonte ; alors l'on constate des cristaux plus ou moins gros, ceci est chose connue.

Tandis que structure signifie, dans le sens où nous l'appliquons, composition intime, que ce mélange est plus ou moins homogène, nous avons une fonte forte ou faible.

COMBINAISON. — Tous les fondeurs savent qu'il y a le carbone combiné, tous savent qu'une fonte contient du Mn, du Si, du P ; également nous savons que ces éléments se combinent entre eux.

Le Mn se combine avec le soufre pour former un sulfure de manganèse et avec le carbone pour former un carbure de manganèse, le phosphore formera un phosphure de fer, le silicium donne un siliciure de fer et si la fonte est oxydée il y aura formation

probable de silicate (ici il y a discussion pour savoir la combinaison exacte).

Le carbone, qui joue le plus grand rôle, mais est régi par le silicium, forme avec le fer un carbure appelé carbone combiné.

C'est justement un carbure de fer qui nous intéresse suivant que sa teneur est plus ou moins forte.

Il est très dur et peut se présenter à l'examen microscopique, en larges plages blanches, comme le montre la micro n° 1 qui est celle d'une fonte blanche. Il est donc à l'état libre.

Au-dessus d'une teneur de 0,90 o/o il sera dans cet état libre et réparti dans la masse du métal.

Maintenant si nous descendons au-dessous de 0,90 nous le verrons se mélanger avec le fer pour former des lignes parallèles alternant de carbure et de fer comme le montre le micro n° 2.

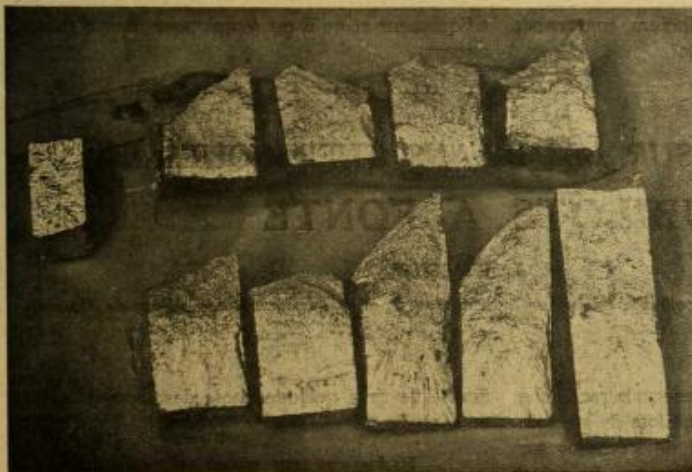
Ce mélange est appelé « perlite ». Peut-être, Messieurs, vous souviendrez-vous d'un article paru

dans la *Fonderie Moderne* appelant l'attention sur les moulages en perlite.

Eh bien, nous y sommes à cette perlite. C'est elle qu'il faut chercher à produire pour obtenir des moulages forts; la production de perlite est basée surtout sur la vitesse de refroidissement.

Nous savons tous que le refroidissement est un échange de calories, de la masse la plus chargée en passe à une moins chargée, jusqu'à complet équilibre. C'est le principe des vases communicants. Cet équilibre se produit plus ou moins vite, suivant que l'écart entre les deux masses est plus ou moins grand.

Un courant s'établit donc; ce courant a une action dynamique sur les combinaisons de la fonte, lesquelles se solidifieront par ordre de point de fusion.



Photographie n° 1 montrant les cristaux de refroidissement.
Ces échantillons proviennent de barreaux d'essais de Keep pour silicium.

Plus l'échange de température sera rapide, c'est-à-dire plus la différence de calories entre les deux masses, en tenant compte de la facilité d'émission et d'absorption, autrement dit leur conductibilité, sera grande, plus le résultat obtenu présen-

tera la composition du métal au moment exact du contact des deux masses.



Micrographie n° 2 montrant la nature lamellaire de la perlite.
Les plaques noires sont du graphite primaire.

Plus l'échange de température sera lent, moins nous aurons la composition du métal liquide, parce que les éléments composant le métal auront eu le temps de se séparer pour revenir à leurs combinaisons naturelles à froid.

Par exemple si nous coulons froid vers 1130°C (c'est une supposition) dans un moule en fonte à 15°C , nous constatons que l'extérieur du moulage présentera à la cassure un entraînement à angle droit, comme dans tous les moulages refroidis brusquement, seulement ces cristaux à angle droit, photo n° 1, que nous appellerons cristaux de refroidissement, seront constitués de fer, graphite et très peu de carbone combinés. L'intérieur sera uniquement composé

de fer et graphite, mais les cristaux qui seront formés, n'auront pas d'orientation; étant donné qu'ils se seront solidifiés lentement nous les appellerons cristaux de solidification. Nous avons pris la température de 1.130°C parce qu'elle

est celle où se décompose le carbone combiné en fer et graphite.

Maintenant si nous coulons à 1.350° C dans le même moule, nous aurons des cristaux de refroidissement exempts de graphite, donc de la fonte blanche, parce que la vitesse d'échange de calories aura été rapide et le temps pendant lequel la température est restée à 1.130° C n'aura pas été suffisant pour permettre la décomposition de carbure de fer en graphite et fer. D'autre part le centre du moulage présentera du fer, graphite et « perlite » (carbure de fer mélangé intimement au fer) par suite d'un refroidissement plus lent, réglé par les cristaux de refroidissement qui font fonction de conducteurs, mais pas assez lent pour que cette « perlite » soit décomposée entièrement en fer et graphite.

Egalement nous pouvons faire varier les relations carbone et silicium; dans ce cas la température peut être constante pour tous les moulages.

Dans d'autres cas les parois du moule peuvent varier. A notre avis il est préférable de n'avoir qu'un seul facteur régissant la solidification soit :

- a) Carbone-silicium et moule constants; température variable ;
- b) Température et moule constants; C-Si variables ;
- c) Température et carbone-silicium constants; moule variable.

De ces maux choisir le moindre.

Comme dernière remarque, pour obtenir et pouvoir tirer des conclusions pratiques il serait nécessaire d'avoir le moule à la même température que le métal (chose impossible) et d'en régler le refroidissement à notre gré.

Malheureusement il faut se contenter de conjurer les facteurs à notre service au mieux de nos intérêts.

Notre intérêt sera donc d'utiliser la science sous sa forme la plus pratique. Analyse de toutes les matières premières entrant dans notre fabrication. Analyse des produits finis. Essais mécaniques et physiques fréquents.

Vérification du silicium, 3 et 4 fois par jour au moyen de l'essai de Keep. Essais rapides du soufre et phosphore surtout sur les arrivages. Ensuite des examens microscopiques. Il ne faut pas oublier que c'est grâce à l'examen des métaux au microscope que toutes les lois qui régissent la fusion et la solidification des métaux furent établies.

Je crains fort que ce petit Mémoire n'ait rien apporté de nouveau dans l'Art de la fonderie. Malgré cela le but en est de rappeler que de l'autre côté du Rhin il y a des fondeurs qui travaillent scientifiquement et qu'il est temps pour nous d'en faire autant.

REMARQUES SUR LES BILANS THERMIQUES DES CUBILOTS A FONTE

par M. J. SEIGLE

Professeur de Métallurgie à l'École Supérieure de la Métallurgie et de l'Industrie des Mines de Nancy.

Il a été écrit beaucoup d'articles sur la recherche d'une marche économique des cubilots de seconde fusion de fonte, sur les moyens de s'éclairer sur cette marche, d'après l'analyse des gaz du gueulard, ou d'après la température de sortie de ces gaz, ou d'après le volume du vent soufflé à chaque instant, enfin sur les moyens d'action tels que variations du débit et de la pression du vent, augmentation ou diminution des sections individuelles, et totale des tuyères, disposition de celles-ci en un ou deux ou plusieurs rangs, etc.

Le but de cette note est de faire ressortir la dif-

ficulté de tirer quelque chose des moyens actuels de contrôle.

ELÉMENTS DU BILAN THERMIQUE

Un bilan thermique est surtout intéressant, me semble-t-il quand on l'établit pour 1 kgr de carbone; c'est comme cela qu'on voit le mieux la répartition de quelque chose qui est connu et fixe, à savoir les 8.080 calories que renferme à l'état potentiel ce kgr de carbone; c'est aussi en les rapportant tous à 1 kgr de carbone, au lieu de 100 kgr de fonte comme le font beaucoup d'au-

teurs, qu'on peut comparer commodément des bilans de diverses origines.

Voyons alors les termes qui interviennent dans les bilans :

- 1^o) Chaleur potentielle P des gaz du gueulard, à cause du gaz CO qu'ils renferment;
- 2^o) Chaleur sensible S des mêmes gaz;
- 3^o) Calories S' prises par la fonte et la scorie;
- 4^o) Pertes R par rayonnement et conductibilité, échauffement des maçonneries, réactions accessoires, telles que décomposition de la castine, combustion d'un peu de Si, Mn et Fe de la fonte, etc...

Voici quelques indications et réflexions sur ces différents termes.

CHALEUR POTENTIELLE ET CHALEUR SENSIBLE DES GAZ DU GUEULARD

On peut, en première approximation, considérer comme négligeable la production d'un peu d'acide carbonique, amené par la castine de la charge, et la combustion d'un peu de Si Mn et Fe, par l'oxyde superficiel des gueusets ; les gaz seront alors formés uniquement de CO², CO et azote, et j'ai démontré que les teneurs en CO² et CO ne peuvent pas être toutes deux quelconques, mais sont liées obligatoirement par la relation suivante :

$$4,76 \text{ CO}^2 + 2,88 \text{ CO} = 100$$

Ces coefficients 4,76 et 2,88 sont liés comme suit à la composition de l'air normal, renfermant 21,0 % d'oxygène en volume :

$$4,76 = \frac{100}{21} \quad 2,88 = \frac{100 + 21}{2 \times 21}$$

Le volume V d'air soufflé par kgr de carbone, et le volume U de gaz correspondant, tous deux comptés à 0° et sous la pression normale, peuvent s'exprimer en m³, en fonction de l'une ou l'autre des teneurs en CO² ou en CO : je donne par exemple les résultats en fonction de la teneur d, en gaz CO.

$$V = \frac{186 \times 1,88}{79} \times \frac{200 - d}{100 + 1,88 d}$$

$$U = \frac{186 \times 4,76}{100 + 1,88 d}$$

On ne peut donc pas baser des calculs de bilan thermique sur des valeurs de teneur en CO² et CO des volumes V de vent et des volumes U de gaz pris au sentiment ; or, quand on examine des analyses de gaz de cubilot, publiées dans les Revues en comparant leurs chiffres avec ce qu'indique la

relation on voit que, le plus souvent, il y a des différences inadmissibles.

La chaleur potentielle P du gaz produit par kgr de carbone est égale au produit pU où p est le pouvoir calorifique du gaz au m³, déterminé par la teneur en CO, et U le volume défini plus haut. Comme 1 m³ de CO développe 3.040 calories en brûlant, en CO² on a :

$$p = 30,40 \times d$$

La chaleur sensible S est égale de son côté au produit de volume U par la température de sortie t et par la chaleur spécifique du m³, voisine de 0,32. Il faut bien faire attention que t est fort différent de la température des gueusets qui sont au gueulard.

Ainsi la détermination des termes P et S du bilan thermique est très possible et les formules dont j'ai établi l'existence entre les qualités qui interviennent seront très utiles pour éviter des erreurs grossières.

TERME R DES PERTES DE CHALEUR PAR RAYONNEMENT, ETC.

C'est un terme qu'on ne peut malheureusement obtenir que par différence entre les 9.080 calories que peut donner un kgr de carbone et le total des calories, P chaleur potentielle des gaz + S chaleur sensible de ces gaz, + S' chaleur sensible de la fonte et de la scorie ; c'est ainsi un terme qu'on peut qualifier de tout repos auquel on fera dire à peu près ce que l'on voudra.

CHALEUR SENSIBLE S' DE LA FONTE ET DU LAITIER

On calcule ce terme par le produit des poids de fonte et de scorie fondus par kgr de carbone de la charge, par leur température et leur chaleur spécifiques au kgr. Les chiffres admis comme chaleur spécifique sont assez variables d'un auteur à l'autre, 0,21 à 0,27 pour les deux matières, mais quelquefois jusqu'à 0,30 à 0,35 pour la scorie.

Comme température, on prend souvent 1.250° dans le cas de la fonte pour moulage ordinaire.

Mais un bilan thermique ne peut rien nous dire lui-même au sujet de la température, *ce n'est pas du tout la même chose pour le fondeur que d'avoir 100 kgr de fonte à 1.300° ou d'en avoir 130 kgr à 1.000° quoique cela fasse le même nombre de calories.*

Nous ne pouvons rien déterminer de précis par le calcul au sujet de la température régnant dans le bas du cubilot (région des tuyères) et au sujet de la température de la fonte et du laitier qui s'écoulent et se rassemblent en-dessous des tuyères à une température notablement inférieure à la première.

Un four quelconque étant en marche continue normale, la masse des matières qui s'y trouve est à des températures variables d'un point à l'autre, par exemple du haut en bas d'un cubilot cela représente une quantité de chaleur inconnue qui reste invariable et n'intervient pas dans le bilan thermique.

CHANGEMENT DE LA VALEUR DE LA TENEUR EN CO DES GAZ DU GUEULARD

Quand la teneur en CO dans le gaz du gueulard augmente, la chaleur potentielle P de ce gaz augmente donc, ce qui est évidemment une perte au point de vue de l'utilisation du combustible dans le cubilot. Mais la plupart des auteurs envisagent seulement ce phénomène et laissent presque entièrement de côté les variations qui peuvent se produire du côté de la chaleur sensible S du gaz. Si quelque modification dans le régime du cubilot diminue la valeur de P, nous ne savons pas si cela se retrouvera en augmentation de la perte par la chaleur sensible ou en augmentation des calories disponibles pour la fusion ou en pertes plus grandes par les parois.

INDICATIONS A TIRER DU VOLUME DE VENT SOUFFLÉ

Le volume de vent soufflé à chaque instant peut être évalué avec plus ou moins de précision, d'après la différence du niveau de l'eau dans les deux branches d'un tube en U dont les extrémités sont reliées à deux tubulures percées différemment dans la conduite de vent, par exemple : une tubulure est terminée par une partie recourbée qui s'ouvre en face du courant d'air ou bien les deux tubulures s'ouvrent sur le bord de la paroi, l'une avant et l'autre après un diaphragme établi sur la conduite.

Mais comment agit la variation de volume du vent dans la suite des minutes ?

Il y a deux éléments qui peuvent être modifiés en même temps : poids de C brûlé par unité de temps et proportions relatives du C qui sortent à

l'état de CO² et à l'état de CO, mais on ne sait rien à priori sur la variation de chacun.

En réalité si on souffle plus fort d'une façon continue, il y a surtout gazéification d'un poids de C plus grand, peut-être a-t-on un peu plus de CO² au gueulard, mais en même temps une augmentation de la chaleur sensible S des gaz ; au total donc, changement douteux ou difficilement appréciable dans les calories disponibles pour la fusion. Il y a d'ailleurs pour chaque cubilot, et chaque genre de matières chargées, une certaine marche sanctionnée par la pratique au point de vue régularité de descente des matières et régularité des températures du produit fondu et pas mal d'écart possible autour d'une certaine moyenne, sans changement marqué de la mise aux 1.000 kgr de coke.

Enfin, on sait encore moins ce que peuvent faire des variations un peu rapides du volume de vent soufflé à chaque instant auxquelles ne correspond pas un état d'équilibre normal de marche du cubilot. L'enregistrement des pressions et des volumes de vent reste une précieuse source de renseignements sur la marche d'un cubilot pour celui qui ne peut contrôler que l'ensemble du travail (arrêts de soufflage, accrochages, etc.), mais il me paraît impossible de lui demander davantage.

CONCLUSION

En résumé, ce sont des marches pratiques, faites dans les conditions différentes dont on veut apprécier les effets qui seules peuvent permettre de se rendre compte des résultats en notant toutes les circonstances : poids exacts des charges, d'où mise au 1.000 de coke, changements physiques de celles-ci (coke sec ou mouillé, gueusets et boccages plus ou moins gros), température de la fonte donnée par une lecture pyrométrique et appréciée par la fluidité, régularité ou irrégularité de marche, changement de texture produite par la fusion, etc.

Il reste certainement beaucoup à faire comme précision des analyses et mesures qui interviennent dans le bilan thermique.

Il y aura toujours de l'incertitude du fait de notre impossibilité de calculer autrement que par différence, du moins avec assez de précision, les pertes de calories par rayonnement et conductibilité.

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES FONTES MOULÉES

LEUR RAPPORT AVEC LA COMPOSITION ET LES CONDITIONS DE REFROIDISSEMENT

par M. J. SEIGLE

RAPPEL SOMMAIRE DES CAUSES PRINCIPALES QUI AGISSENT SUR LA PRÉCIPITATION DU GRAPHITE.

Les propriétés mécaniques des fontes sont en relation étroite avec leur texture et celle-ci dépend du carbone précipité à l'état de graphite.

La quantité de graphite augmente, c'est-à-dire la texture devient plus grise :

- 1°) Quand le carbone total augmente ;
- 2°) Quand le silicium augmente ;
- 3°) Quand la vitesse de refroidissement à partir de la coulée diminue.

Un autre élément intervient dans l'aspect des fontes d'affinage Martin et Thomas, c'est le manganèse ; il agit en sens inverse du carbone et du silicium, c'est-à-dire tend à diminuer la précipitation du graphite. Dans les fontes moulées, on évite le manganèse et tant que sa teneur reste inférieure à 1 ou 1,25 0/0 son influence sur la précipitation du graphite reste peu sensible.

Le carbone et le silicium s'introduisent dans la fonte au haut fourneau, et, en plus forte proportion, quand le haut fourneau marche en allure chaude ; on a alors des fontes grises améliorantes de moulage.

COMPOSITIONS POSSIBLES DE FONTES POUVANT ÊTRE EMPLOYÉES POUR FAIRE DES MOULAGES OU CONSTITUANT DES MOULAGES.

On aura une meilleure vue d'ensemble sur les diverses propriétés mécaniques des fontes, si l'on examine comment varient quelques propriétés caractéristiques dans toute l'étendue des textures, entre le gris de moins en moins graphiteux, entre le gris limailleux et blanc, les textures dites serrées et les truités gris et blancs ; les fontes dites aciérées, employées pendant la guerre pour faire des obus et sur lesquelles ont porté récemment les mesures de certains auteurs, ont une composition qui ne correspond qu'à une petite région des compositions possibles.

Considérons la texture de barreaux de fonte à moins de 1 0/0 de manganèse refroidis dans le sable, et ayant en gros de 10 à 100 centimètres carrés de section, par exemple des barreaux de 40 mm. x 25 mm. avec lesquels je fis des essais de

flexion et de choc dont je parlerai ou des barreaux de 40 x 40 comme ceux qui servaient aux essais de choc pour la réception des coulées de fonte aciérée, ou bien encore les gueusets des fontes de haut fourneau coulés en sable ayant une section de l'ordre de 60 à 70 cm². Pour de tels barreaux, les conditions de vitesse de refroidissement sont assez semblables pour qu'une même fonte présente dans ces conditions à peu près la même texture ; la même apparence comme importance du graphite précipité et ce sont alors les seules teneurs en C et Si qui causent les changements de texture.

En suivant la marche d'un haut fourneau en fonte hématite de moulage à P < 0,12 0/0 et à Mn < 1 0/0 qui, dans la suite des jours passait du limailleux, ou fonte n° 1, au blanc ou fonte n° 8 et, en donnant les teneurs en C et Si de chaque coulée, j'ai établi un diagramme de correspondance des numéros d'après la texture

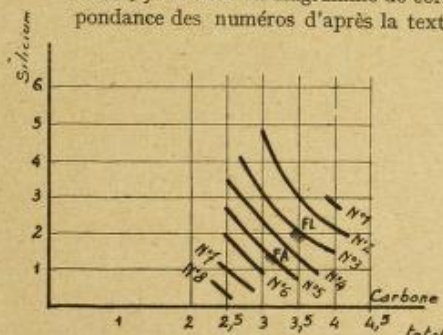


Fig. 1. — Texture en fonction des teneurs en C et en Si (gueusets en sable).

(gueusets ou barreaux de 40 x 25 coulés en sable) et des teneurs en C et Si (fig 1).

On voit bien que ces deux éléments jouent un rôle analogue et le tort que l'on a de ne considérer que la teneur en silicium. On peut avoir en effet des textures très différentes avec une même teneur de carbone total, ce seront les fontes les plus siliceuses qui seront les plus grises ; et l'on peut avoir également des textures très différentes avec la même teneur de Si, et ce seront les fontes les plus carburées qui seront les plus grises. Autrement encore, le diagramme montre qu'on peut avoir

un même aspect de fonte n° 3, par exemple, avec
3 0/0 de C et 3,5 0/0 de Si

ou bien avec 4 0/0 de C et 1,5 0/0 de Si seulement.

Les compositions qui se montrèrent les plus favorables pour couler les obus en fonte dite aciérée, correspondent à la petite région FA marquée en hachures dans la figure 1, c'est de la fonte n° 5 qui, coulée contre coquille, donne dans les 6 à 14 mm. de trempe.

Des fontes grises pour lingotières auront au contraire une composition correspondant à la région FL de fonte n° 3 et beaucoup de moulages courants seront entre ces deux cas. Mais au contraire les fontes pour gros cylindres de laminoirs en coquille, et surtout les fontes pour gros cylindres coulés de laminoirs coulés en sable, sont dans la région allant de FA vers les fontes n° 6.

Le diagramme (fig. 1) n'est pas cependant d'une complète généralité quand on passe aux très grosses pièces, telles que les cylindres de laminoirs pour gros mills de 0,700 à 0,900 et plus de diamètre, ou les chabottes de pilon, etc., dont le refroidissement est particulièrement lent ; ce sont alors les fontes les plus carburées qui donneront l'apparence la plus graphiteuse, à mesure que croîtra la lenteur du refroidissement. En effet, soit par exemple deux fontes ayant la texture n° 3 sur les barreaux ou gueusets coulés en sable, de 10 à 100 cm2 de section, l'une d'elle étant à 3 0/0 C et 3,5 0/0 Si. Si l'autre a 4 0/0 de C et 1,5 Si, il est évident qu'un refroidissement quelque lent qu'il soit, ne pourra donner plus de 3 0/0 de carbone précipité en graphite dans la première fonte, alors que l'autre pourra atteindre et dépasser ce chiffre.

Phosphore. — Le phosphore est intéressant à considérer ; il ne paraît pas agir sensiblement sur la précipitation du graphite, mais il agit sur la fluidité et sur la fragilité pour les augmenter.

Ainsi on recherche les fontes de 1 à 1,25 0/0 de P quand on veut couler des objets minces ; mais à ces teneurs, la fragilité est notablement plus grande que dans les fontes dites hématites à P 0,10 ou 0,12 0/0 ; ces dernières sont donc préférées pour des moulages résistant au choc, et l'expérience a aussi montré qu'elles convenaient mieux pour des moulages exposés à de hautes températures (lingotières d'aciéries, vannes à vent chaud de hauts fourneaux, etc.).

Soufre. — Il ne semble pas que jusqu'à des teneurs de 0,10 0/0 à 0,12 0/0 le soufre soit gênant ; au delà, il semble rendre les fontes pâteuses.

Comme le soufre augmente généralement quand

les fontes deviennent moins graphiteuses (en supposant qu'il s'agisse de fontes à moins de 1 0/0 de Mn), il ne paraît pas possible qu'on attribue parfois au soufre un effet nuisible qui peut être dû plutôt à la teneur en carbone ; dans certaines fontes à Si assez élevé, et trouvées mauvaises pour la fonderie, il y a vraisemblablement à la fois peu de carbone et beaucoup de soufre : leur mauvaise qualité générale attribuée à l'excès de ce dernier élément, pourrait être plutôt attribuée à la faiblesse du C total.

RÉSUMÉ DES RÉSULTATS D'ESSAIS MÉCANIQUES DES FONTES HÉMATITES.

En opérant donc sur des barreaux de compositions beaucoup plus variées que ce qui correspond à la fonte pour obus, j'obtins des résultats qui sont résumés dans le graphique (fig. 2), étant entendu que la texture dont il s'agit est toujours celle des barreaux-mêmes qu'on a essayés.

1° Résistance à la traction (courbe a). — Cette résistance est seulement de 10 kgr. environ par

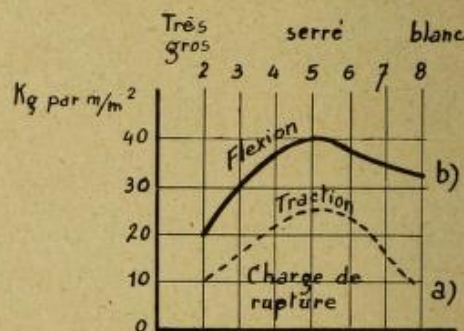


Fig. 2 (a-b). — Propriétés mécaniques des fontes non phosphoreuses en fonction de la texture.

mm2 pour les barreaux à texture n° 2, puis s'élève à 25 ou 30 kgr. pour les barreaux à texture n° 4 ou 5, etc., redescendant à moins de 10 kgr. pour les textures blanches.

2° Résistance à la flexion (courbe b). — Quand on note les charges de rupture par flexion statique et qu'on calcule les efforts par mm2 dans les parties les plus fatiguées à l'aide des formules de la Résistance des Matériaux, on trouve des chiffres supérieurs à ceux que donne l'essai de traction, comme l'indique le graphique. Les deux phénomènes ont la même allure, mais on notera cependant que la résistance à la traction en allant des fontes n° 5 vers les fontes blanches décroît bien plus vite que la résistance à la flexion, ce qui doit provenir des ruptures qui se

produisent prématurément aux essais de traction par suite de la tendance du barreau à se redresser dès qu'il y a le moindre manque de rectitude des barreaux en fonte blanche.

Dans les constructions, on tient compte de cette différence entre les charges de rupture de la fonte par traction directe et par flexion; alors qu'on fera travailler la fonte à 1 kgr. 5 ou 2 kgr. par mm² à la traction, on la fera travailler à 2 kgr. 5 à la flexion.

Au point de vue réception des pièces moulées, certains cahiers des charges prévoient l'essai de flexion avec l'appareil connu sous le nom d'appareil Monge; on opère par exemple sur des barreaux de 40 mm. x 40 mm. de section; on impose une charge minimum avant rupture, sous une portée donnée.

3^o) Résistance au choc (courbe c). — L'allure est remarquablement nette, il y a une différence

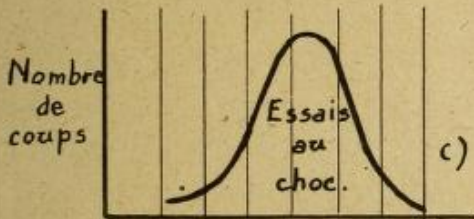


Fig. 2 (c). — Propriétés mécaniques des fontes non phosphoreuses en fonction de la texture.

considérable entre les résultats au choc des barreaux à texture n^o 5 et ceux des barreaux à texture, soit très grises, soit blanches. S'il n'y a pas concordance entre des essais au choc et des essais au cisaillement, comme l'a signalé M. PORTEVIN, c'est que ce sont deux modes d'action différents. Et suivant les conditions d'emploi de la fonte, il sera bon de rechercher de bons essais effectués avec l'un ou l'autre mode.

Il est bien certain cependant, qu'il y a des différences très notables entre les nombres de coups de mouton qui amènent la rupture des barreaux de même section, coulés avec une même fonte et dans des mêmes conditions; par exemple avec de la fonte donnant la texture n^o 5 sur des barreaux de 40 x 40 essayés au choc, il y aura des barreaux qui casseront au 25^e, d'autres au 35^e ou 40^e coup de mouton de 12 kgr. tombant de 0 m. 25 de hauteur, écartement des couteaux 160 mm.; mais néanmoins, c'est là quelque chose de très différent des 1 à 2 ou 3 à 4 coups de mouton qui amènent la rupture en fonte blanche ou en fonte extra-grise.

La fragilité à la flexion et au choc des fontes truitées-blanches ou blanches est bien nette, par exemple les cylindres en fonte trempée ne peuvent résister en travail que si l'épaisseur de trempe blanche est faible; c'est tout le cœur assez gris du cylindre qui résiste vraiment aux efforts de flexion.

Dans un moulage, toute partie mince qui est devenue truité-blanc par suite de l'emploi d'une fonte trop avancée est d'une fragilité extrême.

Il faut bien noter qu'à texture semblable, les fontes à 1 0/0 et plus de phosphore seront toujours plus fragiles que les fontes à P < 0,10, alors que les essais de résistance à la traction, de flexion statique et de cisaillement, pourront être semblables.

Au total la fonte est toujours quelque chose de très fragile par rapport à l'acier, et tel coup de mouton qui amènera au premier coup la rupture de n'importe quel barreau de fonte, fera simplement fléchir légèrement un barreau de mêmes dimensions en acier doux qui pourra recevoir une quantité indéfinie de coups semblables, sans se casser.

Ainsi l'essai de choc des fontes me paraît aussi intéressant que l'essai de traction, mais il ne suffit pas à lui tout seul à caractériser une fonte.

Si un consommateur redoute les fontes phosphoreuses pour les moulages qu'il désire, il aura bien plus de garantie en imposant un maximum de teneur en P, plutôt qu'en spécifiant un essai de choc ou quantités de circonstances, autres que la teneur en P, pourront agir.

4^o) Essai à la bille de Brinell (courbe d). — Dans la suite des numéros de texture de fonte, le dia-

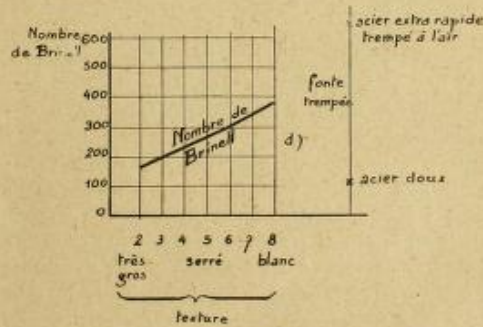


Fig. 2 (d). — Propriétés mécaniques des fontes non phosphoreuses en fonction de la texture.

mètre de l'empreinte va en diminuant, c'est-à-dire le nombre de Brinell, va en augmentant des textures très grises aux textures serrées et aux textures

blanches : les conditions de travail aux machines-outils varient de même, on perce, rabote, tourne, etc., facilement les fontes grises, que l'on qualifie souvent de « douces à l'outil »; les fontes dites aciérées, c'est-à-dire à texture n° 5 sont d'un usinage plus difficile, les fontes blanches (ou les parties de moulage qui sont devenues blanches par suite d'un refroidissement rapide, ce qui revient au même) et entre autres les fontes dites trempées, coulées en coquille ou contre-coquille sont d'un usinage extrêmement laborieux.

On ne peut donc pas comparer sans précaution des chiffres d'essais Brinell, et des chiffres d'essais de traction et de flexion, car par exemple des mêmes chiffres de traction de l'ordre de 20 kgr. se rencontrent avec des fontes à texture n° 3 et avec des fontes à texture n° 6 qui ont comme nombre de Brinell, les premières, un chiffre de l'ordre de 150 à 160 et les autres un chiffre de l'ordre de 260 à 275. Les fontes à texture n° 5 qui donnent les meilleurs résultats à la traction, à la flexion et au choc ont un nombre de Brinell intermédiaire entre les extrêmes, qui est de l'ordre de 180 à 220.

5°) *Module d'élasticité à la flexion* (courbe e) et déformations.

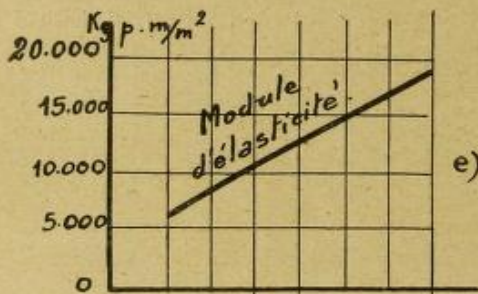


Fig. 2 (e). — Propriétés mécaniques des fontes non phosphoreuses en fonction de la texture.

Je n'ai pas fait de mesures de modules d'élasticité à la traction ou à la compression, mais seulement à la flexion et j'ai trouvé que ce module allait en croissant régulièrement des fontes à texture très grosses n° 1 ou 2 (module de l'ordre de 6.000 kgr. par mm²) aux fontes à texture blanche n° 8 où il devient de l'ordre de 18.000 kgr. ce qui rapproche les dernières fontes des aciers où le module est de l'ordre de 20.000 kgr.

Les fontes à module d'élasticité le plus élevé sont donc bien loin d'être les plus résistantes ; quand on étend les essais aux fontes trempées et blanches, le module d'élasticité de ces fontes est

élevé, mais elles cassent sous de bien plus faibles efforts aux essais de traction, de flexion ou de choc.

L'allure comparative des diagrammes de flexion sur des barreaux de même dimension, en acier et en fonte, se présente comme l'indique la figure (3).

La fonte blanche ne présente que des déformations élastiques, FB est une

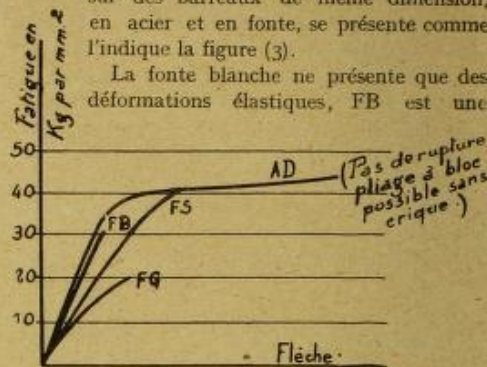


Fig. 3. — Allure comparative des diagrammes de flexion sur barreaux.

AD Acier doux.
FB Fonte à texture blanche sur barreau essayé.
FS — serrée —
FG — grise —

droite, il y a rupture pour la charge correspondant au point B.

Les fontes contenant du graphite présentent au contraire une première période de déformations élastiques, puis des déformations

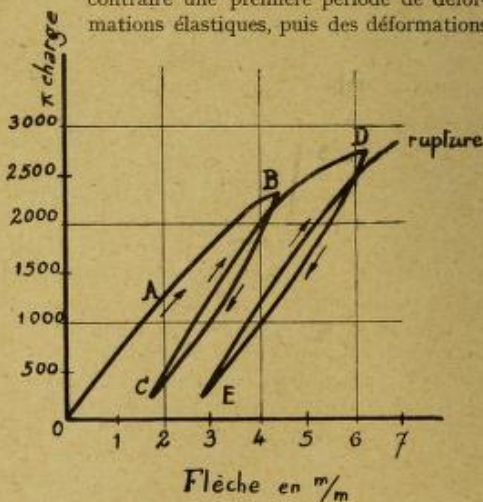


Fig. 4. — Diagramme de flexion d'un barreau en fonte à texture 4 1/2.

permanentes, mais la charge limite des déformations élastiques est extrêmement difficile à bien préciser ; le module d'élasticité qui baisse brus-

quement dans les aciers doux quand on a dépassé la limite élastique (changement brusque de direction de courbe) ne baisse que très graduellement dans les aciers très durs et dans les fontes.

La figure 4 reproduit un exemple de diagramme de flexion sur barreau de 40×40 à texture n° 4 1/2, espacement des supports 500 mm., charge appliquée au milieu du barreau. Les parcours BC et CB correspondent à une suppression, puis à une réapplication de la charge; de même pour DE et ED.

CHANGEMENT DE TEXTURE DES BARREUX D'ESSAI
AVEC LES CONDITIONS DE REFROIDISSEMENT ET
CONSÉQUENCES AU POINT DE VUE DES MODES
DE RÉCEPTION.

La rupture dépendant entre autres, comme je l'ai rappelé au début, de la vitesse de refroidissement, il y a certaines compositions de fontes pour lesquelles la texture des barreaux dépendra beaucoup de leurs dimensions et de l'état du sable du moule où on les a coulés. Par exemple pour les fontes à obus, il fallait prendre soin de ne pas être « trop avancé » (c'est-à-dire il fallait ne pas dépasser 16 à 18 mm. de trempe par exemple) pour éviter d'avoir des barreaux de traction qui soient blancs, et cassent prématurément : le diamètre de 18 mm. imposé pour le cas des gros obus ; par conséquent les propriétés mécaniques de la fonte des obus eux-mêmes auraient été meilleures avec des fontes qui auraient eu par exemple 20 à 30 mm. de trempe à la coulée contre coquille. Des barreaux de 18 mm. coulés en sable avec une telle fonte auraient tous été truités blancs et fragiles.

Mais la texture des gros obus et la texture de tels petits barreaux sont justement des choses très différentes.

Un essai de traction sur barreaux de 18 à 20 mm. ne se comprend donc que pour des fontes à teneur en C et Si répondant aux n°s 2, 3 ou 4 du diagramme (fig. 1) ; pour des compositions correspondant au n° 5 du diagramme, il faudrait prendre des barreaux d'au moins 10 cm² de section, mais alors il faudrait des machines à traction de 30 tonnes et plus pour les casser.

Dans certains pays, on change précisément les dimensions des barreaux d'épreuve de traction et de flexion avec la dimension des pièces moulées ; c'est justifié dans une certaine mesure ; mais il faut bien songer que beaucoup de pièces, présentent des parties d'épaisseur très différentes les unes des autres. Somme toute il n'y a pas de conditions

d'essai que l'on puisse dire applicables à tous les cas, qu'il s'agisse des dimensions de barreaux d'essai, des conditions de coulée de ces barreaux (à part ou attenant aux pièces) et des conditions minima imposées.

Dans pas mal de cas, les fondeurs estiment par expérience que la fonte donnant les meilleurs résultats aux épreuves de réception qu'on impose n'est pas du tout celle qui convient le mieux aux pièces elles-mêmes.

Un essai de flexion avec l'appareil de Monge sur barreaux de 40×40 ne paraît pas intéressant pour les fontes jusqu'aux compositions n° 5 du diagramme (fig. 1). Un tel essai aurait été bien mieux indiqué à mon avis que l'essai de traction sur barreau de 18 mm. imposé dans le cas des fontes pour obus.

Divers auteurs ont fait des essais de flexion sur des barreaux de fonte de même surface transversale, mais de formes diverses, carrés, rectangles, ronds, ovales, etc., et ils ont trouvé (d'après les charges totales amenant la rupture et en appliquant les formules de la Résistance des matériaux) des charges de rupture par mm² très différentes pour une même fonte. Cela tient entre autres aux textures différentes entre la surface, les arêtes et le milieu des barreaux parce que les vitesses de refroidissement diffèrent suivant la forme de la section ; or à chaque texture correspond entre autres un certain module d'élasticité, ce qui influe sur la répartition de la fatigue entre les diverses parties de la section la plus fatiguée. Les parties superficielles, moins graphiteuses, ont un module d'élasticité plus élevé que les parties les plus graphiteuses ; une même flèche correspond donc à une fatigue plus forte dans les parties externes, dont la résistance par mm² est précisément moindre et qui sont particulièrement sensibles à tout défaut qui peut se présenter sur les barreaux.

Quant à l'essai Brinell, il traduit trop quelque chose de local ; c'est très bien pour se rendre compte des différences d'un endroit à l'autre, entre les parties minces et épaisses, mais avec les fontes, il y a parfois trop de différence de texture entre la surface des pièces où, par la force des choses, on prend en général l'empreinte, et les parties internes ; de même entre les surfaces de parties coulées à vert (sable non étuvé, humide) et les surfaces des parties coulées contre du sable étuvé, etc.

Un barreau de 40×40 de section dont on aura meulé ou même légèrement raboté la surface peut donc être très sensiblement moins graphiteux près de cette surface qu'à l'intérieur, l'essai Brinell par empreinte sur cette surface peut donc avoir

très peu de rapport avec la résistance à la flexion ou à la traction, opérations qui intéressent mieux toute la masse du métal.

Par exemple pour de la fonte pour obus n° 5 à 10 mm. de trempe les barreaux coulés à vert donnent des nombres de l'ordre de 220 à 240, alors que des barreaux coulés en sable donnent des nombres de l'ordre de 170 à 190.

Le diagramme courbe c de la figure 2 a été fait, en prenant les empreintes avec une bille de 19 mm., pression 10 tonnes, sur des barreaux de 45 × 25 coulés à vert et légèrement meulés.

Avec une bille de 10 mm. pression 3 tonnes, les nombres de Brinell qu'on obtient sur une série donnée de barreaux de fonte ne classent pas ces barreaux dans le même ordre de dureté que la bille de 19 mm., pression 10 tonnes, parce que les épaisseurs de couches superficielles intéressées ne sont pas les mêmes dans les deux cas. On peut noter, en passant, que l'essai Brinell donnera une indication de texture qui pourra être exagérée dans le sens « avancé » ou blanc, mais jamais exagérée dans le sens « gris » en mettant, bien entendu, à part le cas où l'empreinte tombe au voisinage d'une soufflure, et présente alors un diamètre anormalement grand.

Mais en opérant toujours dans les mêmes conditions, on aura évidemment avec l'essai Brinell, pour des fontes pas trop différentes, un moyen très commode de comparaison.

POSSIBILITÉ DE PRÉCISER LA TEXTURE DE LA FONTE (ET PAR SUITE SES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES) D'UNE MANIÈRE SIMPLE.

Les aciéristes de four Martin se rendent compte de la nuance de l'acier en cours d'affinage, à l'aide d'éprouvettes aplaties au pilon, puis cassées, après qu'on les a trempées à l'eau, soit vers 900°, soit vers 400 à 500°.

L'expérience leur a appris quelle correspondance il y a entre les résultats de ces essais et la résistance à la traction. Or les essais mécaniques sont certainement intéressants pour les pièces en acier, ils signifient quelque chose; une coulée d'acier doux Martin ou Thomas, donnera, après coulée et travail mécanique quelconques, des moulages, des barres ou tôles laminées, des pièces forgées, etc., qui seront tous en acier doux. Mais pour les pièces en fonte, que les essais soient faits sur des barreaux coulés à part des pièces moulées ou attachant à ces pièces, ma conviction est qu'ils ne signifient, le plus souvent, à peu près rien, à cause de la diffé-

rence de texture des pièces et des barreaux résultant des conditions très différentes du refroidissement.

On lit dans des cahiers des charges : « Les éprouvettes de traction et de choc peuvent être usinées. » Mais comme déjà dit, les résultats pourront être entièrement différents, selon qu'on aura opéré d'une façon ou de l'autre, qu'on aura laissé ou enlevé la surface des barreaux dont la texture est toujours plus avancée qu'à l'intérieur.

Un cahier des charges prévoit pour « moulages d'usages courants » une qualité à plus de 13 kgr. de résistance par traction et une autre à plus de

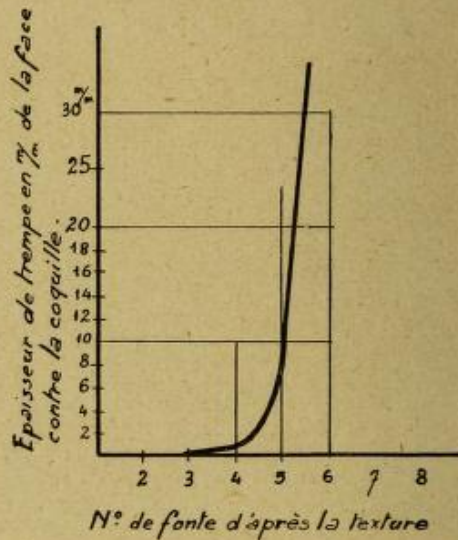


Fig. 5. — Epaisseur de trempe en fonction de la texture des barreaux coulés en sable.

18 kgr.; cela a l'air de signifier que tout moulage en fonte de cette deuxième catégorie sera meilleur que tout moulage identique fait en fonte de la première catégorie. En réalité la résistance vraie dans chaque partie d'un moulage dépendra de la texture dans la partie envisagée, fonction de la composition de la fonte, mais aussi fonction de la vitesse de refroidissement.

Pour de la fonte coulée en moulage à Mn < 10/10 il me semble donc qu'une précision de qualité infiniment supérieure à celle des essais de traction, flexion, choc ou empreinte à la bille serait pratiquement obtenue par deux genres d'examen de texture, à savoir, celle du barreau coulé contre une plaque de fonte — dite coquille — ou celle d'un

barreau de section donnée, coulé en sable ; j'ajouterais tout de suite que ces indications devront être complétées par celle de la teneur en P. C'est cet examen de la texture que faisaient, par exemple, les fondeurs de fonte pour obus en vue de régler leur marche ; ils coulaient des barreaux contre coquille et recherchaient de 6 à 12 à 13 mm. de trempe ; dans ces conditions ils étaient sûrs d'obtenir les chiffres exigés comme traction et comme choc. Une autre partie de problème était pour eux l'établissement des dosages de cubilot, pour avoir régulièrement cette épaisseur de trempe, et de satisfaire en plus d'autres desiderata au point de vue du creux de retassure en réalisant des teneurs convenables en C et en Si.

Dans certains hauts fourneaux on coule à chaque coulée du fourneau des barreaux de fonte, non seulement en sable mais aussi contre coquille, et l'épaisseur de trempe est caractéristique des numéros de fonte jusqu'au n° 5 ; pour les n° 5 1/2 et au delà, le barreau coulé contre coquille devient tout blanc, et c'est le barreau en sable dont la texture reste seule caractéristique.

Le graphique (fig. 5) résume ce qui se présente : avec la fonte n° 1 la face qui était contre la coquille garde la texture des faces qui étaient en contact avec le sable ; avec la fonte n° 2 il y a une légère différence d'aspect (graphite à éléments moins gros) ; avec le n° 3 on voit un léger liseré blanc, ou jusqu'au 1 mm. de trempe ; avec la fonte n° 4 on a de 2 à 5 mm. de trempe ; avec du n° 5 la trempe s'accroît et on aurait, en prenant des barreaux assez gros, jusqu'à 27 à 30 ou 35 mm. de trempe et plus. Pour les fontes n° 6, 7 et 8, ce sera, disions-nous, la texture du barreau en sable qu'on observera, on saura qu'avec un barreau de telle grosseur, coulé en sable bien sec, on a encore au milieu du barreau pas mal de points gris de graphite, ou qu'on en a seulement quelques-uns que l'on pourrait facilement compter, ou qu'il n'y en a point du tout.

Le fondeur sait donc par expérience que pour telle fabrication, pour des pièces de telle ou telle grosseur, c'est telle texture ou de fonte contre coquille ou en sable, qui convient le mieux.

Le consommateur n'aurait donc, dans la plupart des cas, qu'à imposer à son fournisseur que la fonte devra avoir de tant à tant d'épaisseur de trempe, sur barreau coulé contre coquille et attendant à la pièce, pour être beaucoup mieux renseigné sur la qualité de la fonte employée, que par n'importe quel essai mécanique.

Pour des pièces de faible poids, coulées en séries,

il suffirait d'imposer la cassure d'un certain nombre de pièces par lot, et dire que la texture devra être comprise entre celle des deux échantillons, types-limites, l'un du côté gris, l'autre du côté blanc.

Donc un examen des genres ci-dessus, plus des limites imposées pour la teneur en P, et ce serait parfaitement suffisant pour les réceptions de n'importe quels moulages de fonte.

La condition de facilité d'usinage aux machines-outils, est introduite dans certains cahiers des charges, l'inconvénient est la différence d'appréciation.

Quand le fondeur devra livrer des pièces usinées, il lui sera impossible d'employer des fontes trop avancées, fragiles, qui lui rendraient l'usinage onéreux et même parfois impossible dans les parties minces. Le fondeur sera ainsi le premier à éviter des moulages en fontes trop grises, susceptibles de donner des amas de limaille, car de tels moulages supposent l'emploi de fontes grises qui sont chères et les amas de limaille donneraient de vilaines cavités en certains endroits, entraînant par cela même le rebut. Dans des tuyaux de conduite coulés en fonte trop limailleuse, il se produit des agglomérations de paillettes de graphite remplaçant la fonte, d'où des fuites à l'essai hydraulique et la mise au rebut.

Fonte dite aciérée

Beaucoup de personnes ont cru que la fonte aciérée pour obus était quelque chose d'intermédiaire entre la fonte et l'acier ; il n'en est rien, l'acier essayé à la traction donne toujours de l'allongement, par exemple dans le 30 0/0 mesuré sur 100 mm. sur des barreaux de 1 cm² en acier à 38-40 kgr. de résistance, et encore plusieurs unités 0/0 dans les aciers à 90 kgr. Au contraire, toute fonte aciérée ou non, donne 0 d'allongement ou à peu près. La composition de la fonte dite aciérée, région FA sur le diagramme (fig. 1), est tout simplement un cas de composition de la fonte n° 5 et il n'y a nul besoin, pour y arriver, d'ajouter de l'acier à la charge de fonte faite au cubilot ; il faut simplement calculer son dosage d'entrée pour que le produit coulé ait la composition voulue, d'après ce que l'expérience aura démontré comme variation des teneurs en C et en Si pendant la fusion au cubilot.

Un point très important à noter, c'est que le C moyen d'entrée, augmente beaucoup si la charge comporte un certain 0/0 de ferraille d'acier menue, qui se carbure tout d'abord avant de fondre.

Par exemple, soit une charge de cubilot avec de

la fonte seule à 3,25 de C et soit une charge comportant un mélange de :

80 o/o de fonte à 3,50 o/o de C soit.....	2,80
20 o/o d'acier à 0,10 o/o de C soit.....	0,02
Total	2,82

Ces deux charges pourraient très bien donner le même carbone dans la fonte sortant du cubilot, par suite de la carburation des 20 o/o d'acier préalablement à leur fusion. La grosseur des riblons d'acier jouera un grand rôle dans l'intensité de la carburation, celle-ci deviendrait très faible avec de gros riblons s'échauffant tout juste pendant la traversée du cubilot, pour fondre seulement dans le creuset en coulant avec la fonte qui s'y trouve et en simple moyenne arithmétique, pour la teneur finale en carbone.

En tout cas une fonte de la composition adoptée pour obus, et obtenue en cubilot, avec ou sans riblons d'acier, une telle fonte est inemployable pour pièces à épaisseurs inférieures, par exemple à 15 ou 20 mm. (selon qu'on coule en sable étuvé ou à vert) et devant être usinées; toutes les parties minces seraient à texture truité-blanc ou blanc.

FONTES MOULÉES ET FONTES AMÉLIORANTES DE MOULAGE

En dehors du phénomène de la recarburation, dans le cas d'un dosage de cubilot comprenant une certaine proportion de riblons menus, la fusion en

cubilot donne un produit un peu moins graphiteux que la moyenne du dosage d'entrée; il faut y parer en ajoutant aux boccages une certaine proportion de fonte très grise à laquelle convient le nom de fonte améliorante. Ce genre de fonte est le plus cher parce que, comme déjà dit, il correspond pour le haut fourneau à une mise en o/oo de coke et à une moindre production en 24 heures.

Des moulages coulés uniquement avec une telle fonte seraient d'un revient élevé et, de plus, ils seraient souvent trop gris et ne donneraient pas, par conséquent, le maximum de qualités mécaniques.

CONDITIONS D'ACHAT DES FONTES AMÉLIORANTES

On peut acheter ces fontes, soit d'après la texture sur gueusets coulés en sable, soit d'après la teneur en C et en Si et, dans les 2 cas, en tenant compte du P. Le premier mode me paraît plus sûr dans l'état des habitudes de dosage industriel du C, et tenir compte seulement du Si c'est s'exposer à des mécomptes. On peut s'en tirer en tenant compte à la fois du silicium et du soufre; en général une augmentation de soufre avec des teneurs données en silicium, correspondra, en effet, à des fontes moins chaudes, donc moins carburées. On sera obligé cependant de se guider sur l'analyse en C, Si, S, pour les achats de fonte en gueusets, coulés en lingotières métalliques; les dosages de C devront être faits par un laboratoire bien au courant, en employant le procédé de combustion de la limaille à 1.000° dans un courant d'oxygène.

ÉTAT ACTUEL DE LA QUESTION DES NOUVELLES METHODES D'ESSAI DES FONTES

par M. E. RONCERAY

Ce mémoire a été publié in extenso dans les numéros de Septembre et Octobre de la Fonderie Moderne.

RÉSUMÉ DES TRAVAUX DE RÉAUMUR SUR LA FONTE MALLEABLE

L'Association Technique de Fonderie ne peut laisser passer l'anniversaire de la publication des ouvrages de Réaumur sur l' « Art de convertir le fer en acier et sur l'Art d'adoucir le fer fondu et d'en faire des pièces aussi finies que de fer forgé » sans rappeler les travaux et recherches entrepris à cette époque, vers 1720 ; l'esprit scientifique de Réaumur a jeté les fondements d'une industrie qui a été et qui devrait encore être très prospère dans les pays métallurgiques, et en particulier dans les Ardennes françaises.

Réaumur avec son esprit large et généreux nous a

laissé trace de tous ses travaux et l'Association est heureuse d'en publier des extraits. L'A. T. F. s'excuse de faire des extraits aussi longs, mais il n'aurait pas été possible de donner le sens exact des Mémoires en réduisant davantage le texte original.

Toutes les notes ci-après ne sont que des extraits des mémoires de Réaumur, publiés en 1722 avec l'autorisation de l'Académie Royale des Sciences, sur l' « Art d'adoucir le fer fondu et d'en faire des ouvrages aussi finis que de fer forgé ».

J. CARLES.



L'ART D'ADOU CIR LE FER FONDU,

OU

L'ART DE FAIRE DES OUVRAGES
de Fer fondu aussi finis, que de Fer forgé.

PREMIER MEMOIRE.

REAUMUR (RENÉ ANTOINE FERCHAULT DE), physicien et naturaliste français, né à La Rochelle en 1683 ; mort à Saint-Julien-du-Ferroux (Mayenne) en 1757. Son nom a été popularisé par le thermomètre qu'il a construit.

A vingt ans il publiait déjà plusieurs Mémoires de géométrie. Un peu plus tard il se livrait à des observations intéressantes sur la régénération des membres perdus des crustacés, sur l'action électrique des torpilles, etc. A vingt-cinq ans il entra à l'Académie des sciences et était bientôt chargé par cette Compagnie de la direction de la description des divers Arts et Métiers. Parmi ses nombreux Mémoires, il faut citer surtout ceux qui sont relatifs aux rivières roulant de l'or, aux mines de turquoise, à la fabrication de l'acier et à l'art d'adoucir le fer fondu (découverte

de la fonte malléable), à l'art de fabriquer le fer-blanc, à l'incubation des oiseaux, etc. S'il n'obtint pas la porcelaine de la Chine, au moins ouvrit-il la voie et découvrit-il le verre blanc opaque (verre dévitrifié), connu sous le nom de *Porcelaine de Réaumur*.

Les travaux où il a montré le plus d'originalité sont ceux qui ont pour objet l'histoire naturelle. Il s'attache à l'étude des invertébrés et surtout des insectes ; ses Mémoires pour servir à l'Histoire des insectes (1734-1742) sont des ouvrages d'une autorité capitale. A ces travaux, qui lui valurent le surnom de *Plin du XVIII^e siècle*, il faut ajouter les Mémoires où il expose ses recherches thermométriques.

Parmi ses écrits, nous citerons : *Examen de la soie des araignées* (1740) ; *Sur l'art de faire éclore et d'élever en toutes saisons des oiseaux domestiques* (1749), etc.

*Est-il bien sûr que nos découvertes
soient si fort à nous, que le public n'y
ait pas droit, qu'elles ne leur appar-
tiennent pas en quelque sorte ?*

M. de RÉAUMUR



M. RENÉ DE RÉAUMUR

Né à La Rochelle en 1683, Mort en 1757.

PREMIER MÉMOIRE

Des différentes sortes de fontes de fer, ou de fers fondus, et de leurs qualités; de la manière de rendre ces fontes plus pures; et à quoi il a tenu qu'on ne fit de fer fondu quantité d'ouvrages, qu'on peut faire de fer forgé.

On n'ose entreprendre de grands et beaux ouvrages de fer forgé à cause des sommes excessives qu'ils coûteraient. Les prix des ouvrages de cuivre et même de ceux d'or, d'argent, est considérablement diminué par la facilité qu'on a de les jeter en moule et de les réparer quand ils en sont sorti. Le fer avant d'être parvenu à l'état de fer forgé, le fer tel qu'il a été tiré de la mine, en un mot le fer qu'on appelle fonte de fer, se coule en moule : nous devons à cette manière de le mouler divers

ouvrages comme les contrecœurs des cheminées, les poêles, les pots et les marmites de fer, des vases à fleurs, des tuyaux de conduite d'eau, des canons, etc., mais on ne fait de cette matière aucune pièce de prix ; les usages mêmes auxquels on l'emploie sont très bornés. Nous osons pourtant nous promettre qu'on fera dans peu avec cette même fonte de fer des ouvrages aussi beaux, aussi finis, que s'ils étaient de fer forgé, ou même d'acier, qu'ils engageront à si peu de frais qu'on ne craindra pas de les entreprendre. Mais avant d'expliquer ce secret et de faire même sentir l'étendue de l'utilité dont il doit être à un grand nombre d'Arts, il nous faut donner ici quelques notions des différentes sortes de fontes de fer, de leurs qualités et expli-

quer les difficultés qui ont empêché qu'on n'en fit les ouvrages auxquels nous ne doutons nullement qu'on les employe par la suite.

En général, on peut distinguer les fontes en deux classes, par rapport à la couleur qu'on voit sur leur cassure, les unes sont des fontes blanches, et les autres sont des fontes grises. La différence des mines vient de la manière dont le fourneau a été chauffé et chargé.

Les fontes blanches sont plus pures que les fontes grises.

La cassure des fontes blanches paraît d'une texture compacte : on n'y voit pas de grains ; considérée attentivement, elle semblerait plutôt faire des lames de fer forgé. Quelques fois les cassures de fontes blanches montrent des radiations.

On aura besoin ailleurs de se rappeler cette remarque, que le blanc des fontes les plus blanches n'est pas de l'espèce de celui des fers à lames, ou de celui de l'acier trempé fondant ; ces derniers blancs sont éclatants et l'autre est un blanc mat.

Mais une remarque plus importante sur les fontes de fer, et celle qui regarde le plus l'usage que nous voulons en faire à présent, c'est qu'on peut prendre pour une règle à laquelle je ne connais point d'exception, qu'elles sont d'autant plus dures, qu'elles sont plus blanches. Quand elles sont bien blanches, il n'y a ni lime ni ciseau qui puissent mordre dessus. Au lieu qu'il y a des fontes grises, et surtout des fontes extrêmement brunes tirant sur le noir, qui cèdent à la lime.

La fonte blanche est de la fonte naturellement plus affinée.

Pour affiner la fonte, on n'a qu'à la refondre, et plus on en réitére les fusions, plus elle est affinée.

Mais rien ne contribue davantage à affiner la fonte, à la rendre blanche, que de la couler après qu'elle a été fondue, et surtout de la couler très mince.

Il y a peut-être des parties, plus volatiles que la matière terreuse, qui se dégagent de la fonte mince et de toute la surface de la fonte. Il s'en échappe, par exemple, des soufres et des sels.

Nous voyons donc que les fontes blanches sont plus affinées que les grises, et en général de quoi

il est question pour avoir des fontes aussi blanches qu'on les voudra. C'est une des choses nécessaires à la perfection de l'Art que nous cherchons, mais ce n'est point du tout en quoi consiste la difficulté qui a arrêté ; c'est de faire en sorte que cette fonte coulée en moule se laisse travailler, limer, ciseler, réparer, etc. En un mot, il s'agit de la rendre traitable, de lui ôter de sa dureté, de sa roideur.

On peut concevoir deux manières d'adoucir le fer fondu, savoir : 1^e ou de l'adoucir pendant qu'il est en fusion, de le rendre tel que les ouvrages qui en seront faits, se laissent réparer ; 2^e ou l'on peut couler du fer fondu très affiné ; le mouler en ouvrages qui auront toute la dureté et la roideur naturelle à ce fer, mais qu'on adoucira ensuite et rendra traitables.

Si on s'en approche à la tradition des ouvriers, c'est un secret qui a été perdu et trouvé plusieurs fois. Tout ce que nous voyons de grand et de surprenant en fer, comme sont les serrures des portes de Notre-Dame, ils veulent que ce soient des ouvrages de fer fondu. Ce qui est de plus certain et d'assez récent, c'est qu'un particulier a véritablement eu en France quelque chose de fort approchant du secret d'adoucir le fer fondu. Il a entrepris même d'en faire des Etablissements à Cône et à Paris, dans le faubourg Saint-Marceau, il y a vingt ans ou environ.

Il y eut divers ouvrages de fer fondu adoucis ; cependant l'entreprise échoua et l'entrepreneur disparut sans qu'on ait su en aucune façon ce qu'il est devenu.

La manière d'adoucir le fer fondu que nous voulons apprendre aujourd'hui est celle de l'adoucir lorsqu'il a été moulé sous une forme qu'on veut qu'il conserve toujours. J'ai fait aussi quantité d'expériences pour parvenir à l'adoucir dans le temps même qu'il est en fusion. Je pourrai ailleurs en rapporter quelques-unes, qui ne paraissent pas devoir faire espérer autant à beaucoup près.

Après tout que nous importe de pouvoir rendre le fer doux dans deux états différents, pourvu que nous ayons une façon de l'adoucir très commode et à très bon marché.

DEUXIÈME MÉMOIRE

Sur les différentes manières de fondre le fer, sur des attentions qu'il faut avoir pour jeter le fer fondu en moule et pour tirer les ouvrages des moules.

Toutes les manières de fondre le fer, se réduisent à deux manières générales, savoir : ou de le fondre

dans des creusets où il n'est rendu fluide que par la chaleur qui passe au travers de leurs parois, ou de le fondre en le tenant immédiatement exposé à l'action du feu, en le tenant au milieu de la flamme et des charbons.

Le fourneau à creuset.

Le fourneau ordinaire des fondeurs n'occupe pas une grande place mais il est bâti à demeure ; on en peut faire de plus petits ou d'aussi grands, très portatifs, qui paraîtront commodes en bien des circonstances. Au lieu que le fourneau ordinaire est fait de quantité de briques arrangées, les unes sur les autres, le fourneau portatif n'est bâti que de quatre à cinq pièces qui, posées les unes sur les autres, le composent en entier. Une seule sera différente des autres, c'est celle qui en fera la base, qui formera le cendrier. On laissera à celle-ci un rebord tout autour, excepté dans les angles, ce rebord est destiné à porter la plaque de fer sur laquelle on pose le creuset. Pour faire usage de ce fourneau on aura un tuyau recoudé qui recevra le vent du soufflet d'une forge, et qui le conduira à l'ordinaire sous la plaque de fer de ce fourneau. Si outre le fourneau portatif, on a une forge portative, une forge roulante, on pourra transporter son fourneau où l'on souhaitera.

Chaque fois qu'on le changera de place, on lutera toutes les jointures avec une terre sablonneuse.

Four continu ou cubilot (1).

Puisque le vent d'une forge ordinaire fait fondre le fer continu dans le creuset, on ne doutera pas que ce même fer ne fonde encore plus vite s'il est placé immédiatement au milieu des charbons de cette forge.

Des fourneaux construits sur le même principe que ceux où l'on fond les mines de fer, mais plus petits et dont l'ardeur seroit encore plus vive seroient très propres à mettre en fusion une grande quantité de fer à la fois. Pour rendre leur activité plus grande que celle des fourneaux à mines, tout se réduirait à introduire continuellement une quantité d'air plus grande, par rapport à la capacité du fourneau.

Le fourneau est composé de deux pièces, d'une sorte de creuset, et d'une tour en forme de cône tronqué qu'on pose sur le creuset.

Le creuset est appelé poche par les ouvriers et leur manière de fondre s'appelle fondre à la poche. Il est composé en partie d'un vieux pot ou d'un vieux chaudron de fer fondu, servant à maintenir

le creuset qui est fait d'une couche de terre sablonneuse épaisse d'environ un pouce et demi. Pour le solide, et c'est ainsi que je l'ai fait pratiquer, cet enduit doit être des mêmes terres dont on fait les creusets et préparés de la même façon. La terre peut s'élever au-dessus des bords du vase qui la soutient alors elle a seule quelque part une échancrure en demi-cercle, qui recevra en partie la tuyère.

La seconde partie du fourneau, la tour conique, est faite pour être placée sur le creuset. Extérieurement elle est aussi de fer fondu, mais il est plus commode de la faire de tôle. On lui donne environ 15 à 16 pouces de hauteur, mais on ne doit pas craindre de l'élever davantage. Intérieurement elle est revêtue de terre pareille à celle du creuset et de façon que l'ouverture du haut reste un peu plus étroite que celle du bas.

N'oublions pas de remarquer que la tour a une échancrure semblable à celle de la poche ou du creuset ; les deux, ensemble, forment l'ouverture qui reçoit la tuyère.

L'assemblage de ces deux pièces compose le fourneau tout entier, on y excite l'ardeur du feu par le moyen de deux soufflets.

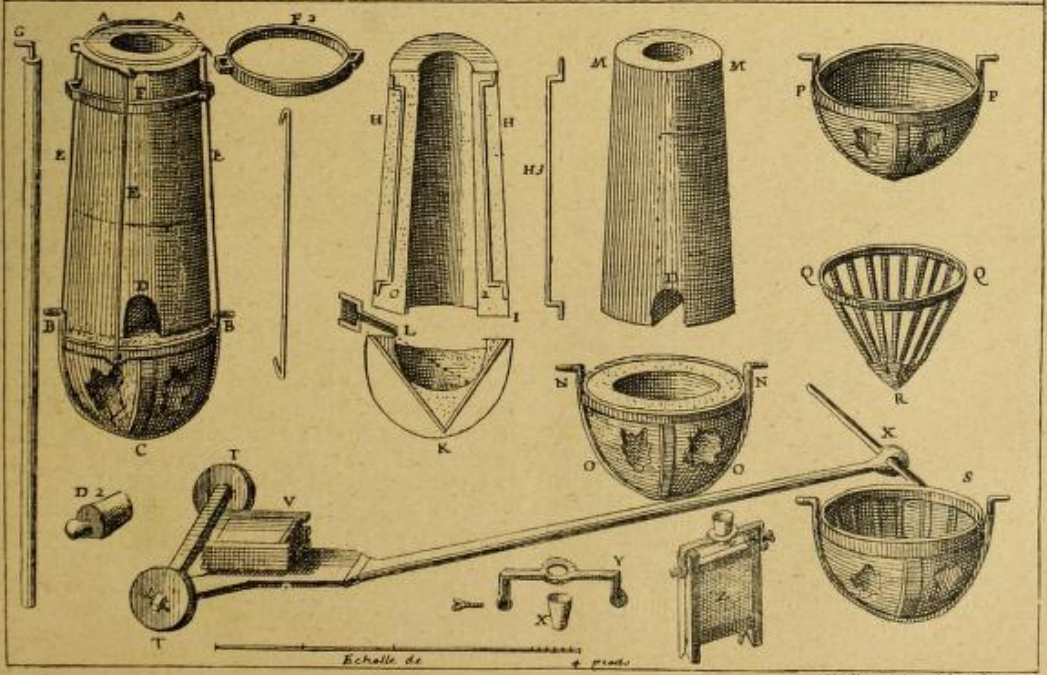
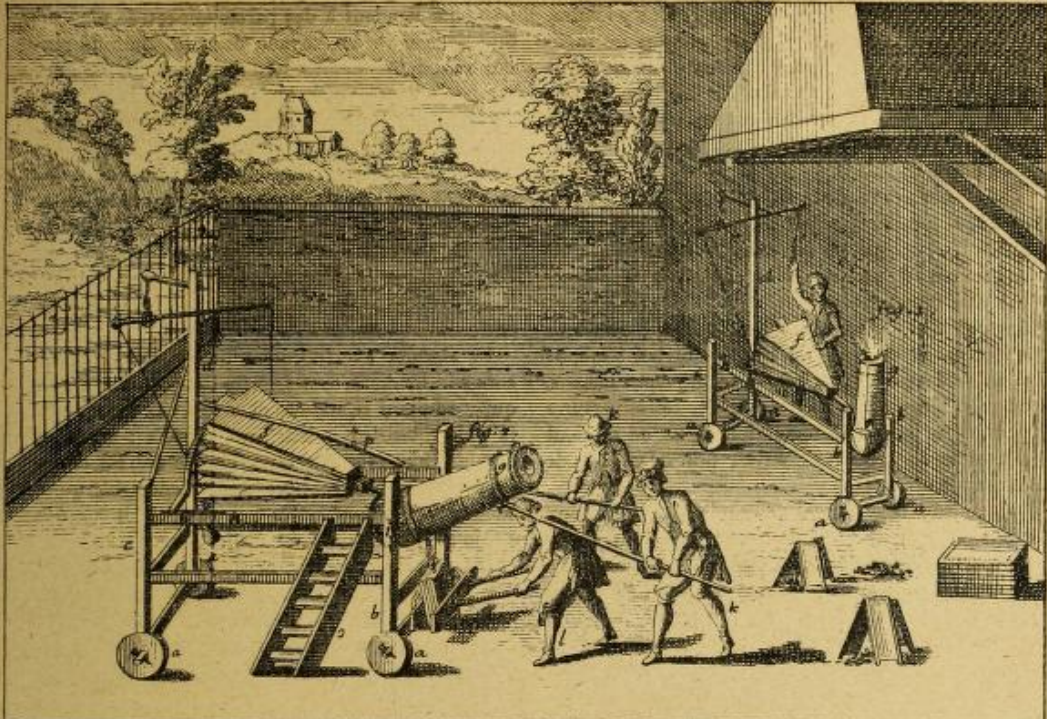
Les soufflets sont placés d'une manière stable, mais ce qui est plus essentiel c'est qu'ils doivent être inclinés, de façon qu'ils dirigent le vent vers le fond du creuset, non pas précisément au milieu du fond, mais au moins tout au bas de la paroi qui est opposée à la tuyère.

Posons la tour sur le creuset, et enveloppons bien le creuset et même le bas de la tour de fraïsil, afin que la flamme ne puisse pas s'échapper du fourneau par les jointures de nos deux pièces.

Cela fait, notre fourneau est dressé et prêt à recevoir le feu. On jette par son ouverture supérieure quelques charbons allumés, et par-dessus ceux-ci on en jette de noirs que le vent des soufflets enflamme bien vite. On achève enfin de le remplir de charbon.

Quand tout le charbon est allumé, et ensuite quand, en la place de celui qui est descendu, on en a remis de nouveau, et enfin quand on voit que le fourneau est suffisamment échauffé, on y porte la première charge du fer qu'on y veut fondre. Chaque fois qu'on met du fer, il est toujours plein de charbon jusqu'à son ouverture supérieure, c'est le seul endroit par où l'on puisse le charger, soit de charbon, soit de métal. Le fer est concassé en morceaux de la grandeur à peu près d'un écu, ils doivent être fondus quand ils arrivent au creuset. Chaque charge de fer n'a d'épaisseur que celle des morceaux de fer, et de largeur ou surface toute

(1) La description que donne Réaumur de son four, dans lequel la fonte est au contact avec le coke, montre l'origine du cubilot. Il est possible que l'ingénieur anglais William Wilkinson ait monté quelques cubilots au Creuset vers 1780, mais on voit que l'idée fut émise par Réaumur et les essais réalisés avant 1722.



celle de l'ouverture supérieure du fourneau. Pour la tour plus elle sera haute, et mieux le fer s'y fondra.

Les fondeurs savent qu'il importe que les moules dans lesquels ils ont à couler du métal soient très secs, c'est quelque chose de les bien sécher. Mais on s'attachera encore à les tenir les plus chauds qu'il sera possible, lorsqu'ils seront prêts à recevoir notre fer fondu.

L'avidité du fondeur est souvent cause que les ouvrages minces se cassent dans les moules. Quoiqu'ils n'aient que de petites pièces à mouler, les empreintes de différents ouvrages ou du même ouvrage répété mettent chaque ouvrage presque dans le risque où il serait s'il avait une grandeur approchante de celle du châssis. Si les fondeurs veulent absolument remplir beaucoup leurs châssis, au moins devraient-ils y multiplier les ouvertures par où ils jettent le métal fondu, ils ne seraient plus dans la nécessité d'ouvrir tant de canaux de communication.

Quand ils feront faire des modèles de nouveaux ouvrages, qu'ils évitent de faire trouver une partie grosse, très renflée, tout au près d'une partie mince de quelque étendue ; autrement dans l'ouvrage qui aura été coulé en fer sur ce modèle, la partie mince sera en risque de se casser dans le moule, ou de mal venir. Mais si l'ouvrage demande abso-

lument qu'il y ait des parties très grosses, très renflées, qui tiennent à des parois minces, le plus sûr sera de mettre des noyaux dans les endroits renflés afin qu'ils viennent creux. La forme de l'ouvrage n'en sera point changée et les endroits qui auraient été considérablement trop épais n'ayant plus qu'une épaisseur proportionnée à celle des parties minces avec lesquelles ils tiennent, ils ne mettront plus ces dernières si en risque de laisser des vides.

Il est arrivé à des pièces que je n'avais pas mis refroidir à une chaleur douce, de se casser plusieurs heures et même un jour après qu'elles avaient été entièrement refroidies.

Un dernier avertissement que je donnerai encore aux fondeurs sera de faire des jets, les canaux qui conduisent la matière dans le creux des moules, le plus mince qu'il leur sera possible ; qu'ils ne donnent aux jets et événements, que ce qui est nécessaire pour que la matière coule facilement, qu'ils compensent autant qu'ils pourront par la largeur, ce qu'ils donneraient en profondeur.

Il faut casser les jets, or s'ils ont l'épaisseur ou une épaisseur approchante de celle de quelques-unes des parties de l'ouvrage, dans le temps qu'on frappera sur le jet, il arrivera souvent qu'on cassera quelques-unes des parties minces.

TROISIÈME MÉMOIRE

Où sont rapportés les essais qu'on a fait de différentes matières pour adoucir le fer fondu, et quelles sont celles que ces essais ont montré y être les plus propres.

Nous supposons qu'au moyen des Arts connus qu'on a ou qu'on peut avoir des ouvrages de fer fondu bien conditionnés mais qu'il reste à les adoucir pour leur ôter partie de leur roideur, et surtout de leur dureté, afin qu'ils deviennent en état de se laisser réparer. L'importance dont ce secret m'avait paru, me l'a fait chercher il y a déjà du temps, et même avant que je songeasse à celui de convertir le fer en acier. Il n'y avait pas de doute qu'il ne fallut faire agir le feu pour opérer dans le fer fondu un changement pareil à celui que je souhaitais ; mais je m'étais convaincu que l'on ne devait pas l'attendre de l'action immédiate du feu. Je pensais donc qu'il fallait renfermer dans des creusets le fer fondu qu'on cherchait à adoucir et l'entourer de matières qui, avec le secours du feu, produisaient cet effet.

Après diverses tentatives, dont quelques-unes m'avaient fait croire que j'étais dans la bonne voie,

j'abandonnai pour quelque temps ce travail pour suivre celui de la conversion du fer en acier, qui était en quelque sorte la matière du temps. Tous les jours on voyait gens qui se présentaient avec ce prétendu secret (1), et qui répondaient mal aux espérances qu'ils voulaient donner. J'ai dit que j'abandonnai mes expériences sur le fer fondu, j'aurai dû dire que je crus les abandonner. Je les continuai réellement en travaillant à convertir le fer en acier, mais d'abord sans y penser. Je me trouvai dispensé de bien des expériences par lesquelles il eût fallu passer.

L'acier difficile à forger devient un acier qui soutient bien le marteau, si on lui enlève les souffres et les sels superflus. La fonte a encore plus de souffres que l'acier ordinaire quel qu'il soit. Dès que je crus suffisamment établi que la dureté de la fonte de fer était produite par les souffres et les sels dont elle est pénétrée, il me parut que le secret de la ramollir, de l'adoucir n'était que celui de lui enlever une partie de ses souffres. (A suivre.)

(1) Secret d'adoucir le fer fondu.



ASSOCIATION TECHNIQUE DE FONDERIE

15, Rue Bleue, 15 — PARIS (IX^e)

Droits de reproduction réservés. — Les communications publiées dans ce bulletin n'engagent que leurs auteurs.

Suite des Mémoires lus au

CONGRÈS DE FONDERIE DE NANCY

Organisé par l'Association Technique de Fonderie, les 5, 6, 7 et 8 Octobre 1922.

RÉSUMÉ DES TRAVAUX DE RÉAUMUR SUR LA FONTE MALLÉABLE

TROISIÈME MÉMOIRE (1)

L'acier difficile à forger devient un acier qui soutient bien le marteau, si on lui enlève les soufres et les sels superflus. La fonte a encore plus de soufres que l'acier ordinaire quel qu'il soit. Dès que je crus suffisamment établi que la dureté de la fonte de fer était produite par les soufres et les sels dont elle est pénétrée, il me parut que le secret de la ramollir, de l'adoucir n'était que celui de lui enlever une partie de ses soufres.

Nous avons vu que les matières qui produisent ce changement dans les aciers sont des matières terreuses des plus alcalines et que celles dont l'effet est le plus grand sur les aciers sont la chaux d'os et la craye réduite dans une poudre fine.

Presque sûr du succès de mon expérience, je renfermai dans des creusets des morceaux de fonte blanche, fort minces : je donnai quelques heures de feu à ces creusets, après quoi j'en retirai mes fontes.

Lorsque je vins à les essayer, je trouvai tout ce que j'avais espéré de fontes dures, rebelles à la lime qu'elles étaient, elles s'étaient ramollies au point de se laisser limer comme le fer.

Je comptai un peu trop sur le succès, j'eus bientôt une nouvelle preuve de ce dont on a tant d'expériences, que les conséquences du petit au grand ne sont pas toujours bien certaines.

Je fis jeter en moule des pièces de fer fondu d'une grandeur raisonnable, épaisses de plus d'un pouce ou un pouce et demi, elles étaient chargées d'ornements. Je les entourai de toutes parts de chaux d'os, je les renfermai dans un fourneau où elles pouvaient chauffer sans être exposées à l'action immédiate de la flamme, elles y soutinrent le feu pendant plus de deux jours, et ce n'était point trop pour leurs épaisseurs. Lorsque je vins à les tirer du fourneau, je trouvai bien du mécompte ; ce n'est pas que les ouvrages de fer fondu n'eussent été adoucis autant que je me l'étais promis ; ils étaient aisés à travailler, mais ils avaient un défaut qui s'accommodait mal avec l'espérance des grands usages dont je m'étais flatté ; leurs premières couches s'en allaient en écailles, les feuillages minces, les traits délicats qui étaient dans le moule et qui étaient bien venus dans l'ouvrage moulé étaient emportés par ces écailles, on eût pu travailler ces pièces, mais il eût fallu employer bien du temps pour réparer tant de désordres.

Je pensai qu'à ces matières trop absorbantes, qui ne rendent point au fer ce dont elles se sont saisies, il fallait joindre une autre matière qui

(1) Voir la *Fonderie Moderne* de Novembre 1922.

modérât leur effet. Quoi qu'il en soit de ce raisonnement, il me détermina à mêler de la poudre de charbon très fine avec de la craye ou de la poudre d'os calcinés. Le succès de ces expériences fut aussi heureux que je le pouvais souhaiter ; avec ces expédients je parvins à adoucir le fer fondu et à le tenir au feu aussi longtemps qu'il était nécessaire, sans qu'il s'en détachât d'écailles.

J'ai essayé l'effet de différents sels, et surtout des sels alcalis, comme de la soude, de la potasse, etc. J'ai aussi essayé le sel marin. Ils n'ont point produit de grand adoucissement et ont mis le fer fondu en état de s'écailer. D'ailleurs, les frais du travail augmenteraient considérablement s'il fallait uniquement employer le sel quel qu'il fût.

Mais j'ai cru devoir tenter s'il n'y en avoit point quelqu'un qui rendit notre composition plus active. Au mélange des deux parties d'os ou de craye, et d'une partie de charbon, j'ai ajouté les sels suivants, de chacun une partie dans chaque essai.

J'ai pris par exemple deux parties d'os, une partie de charbon et une partie de sel marin ; dans un autre essai j'ai mis du sel de verre, dans un autre du vitriol, dans un autre de l'alun, dans un autre de la potasse, dans un autre de la soude, dans un autre de la cendre gravelée, dans un autre du salpêtre concentré par le tartre. Aucun des sels précédents ne m'a paru faire de mauvais effets, mais ils ont contribué à accélérer l'adoucissement de la fonte peu sensiblement : celles où étaient les cendres gravelées, m'ont paru l'emporter sur les autres. J'ai aussi éprouvé ce que produiraient l'antimoine, le vert de gris, et le sublimé corrosif ; j'ai même employé d'autant plus volontiers cette dernière matière que j'avais ouï dire qu'on s'en étoit servi avec succès pour l'adoucissement des fers fondus. Mais elle a plutôt retardé qu'avancé l'effet des matières avec lesquelles elle étoit mêlée. Pour l'antimoine il a gâté le grain de la fonte et l'a empêché de s'adoucir. Le vert de gris n'a point fait de mal et peut être a-t-il fait quelque bien.

Au charbon de bois j'ai substitué en même poids le charbon de savate réduit en poudre ; mais je n'ai pas reconnu que cette poudre eût ici aucun avantage sur celle du charbon ordinaire.

Pour m'assurer si nos poudres, soit d'os calcinés, soit de craye, méritaient d'être préférées à d'autres matières insipides ou alcalines, j'ai mis en pareil poids que dans mes autres essais, de la chaux vive, de la chaux éteinte, des terres à potier réduites en poudre fine, du verre pilé.

La chaux a adouci la fonte, mais elle ne lui a pas donné tant de corps que ces deux autres matières.

La terre à potier, la glaise l'adoucit assez bien mais elle la fait écailer. Le gypse ou plâtre transparent, est de toutes les matières celle qui est le plus à craindre pour produire des écailles. De sorte qu'après avoir examiné les différentes matières que j'ai pu soupçonner propres à être employées pour notre opération, je n'ai rien trouvé de mieux que les os calcinés et la craye.

Dans les premiers essais que je fis en grand, je me servis de chaux d'os, j'employais la craye sans hésiter. Cette épreuve me fit reconnaître que les os ont sur la craye des avantages si considérables, qu'il est surprenant qu'ils m'eussent échappé dans les épreuves en petit. Dans une durée du même degré de feu près d'une fois plus longue, la craye produit à peine autant d'effet que les os. Pour les os calcinés ils adoucissent sûrement et inmanquablement et ils adoucissent d'autant plus vite qu'on a fait prendre un degré de chaleur plus considérable au fer fondu qu'ils environnent. La craye ne réussit donc bien que quand on l'emploie pour adoucir des pièces minces ou que quand on donne un feu très doux aux grosses pièces qu'on ne leur fait prendre qu'une couleur cerise.

Quoiqu'elle soit, la matière qui doit être prise par préférence à toutes celles que nous avons éprouvées pour nos adoucissements, nous avons vu qu'il falloit songer à modérer l'effet qu'elle produit en la mêlant avec la poudre de charbon j'ai cherché en quelle proportion il falloit faire ce mélange.

Le plus sûr est d'en mettre une partie contre deux parties de l'autre matière ; après tout un peu plus de charbon n'est pas capable de retarder l'opération.

Quelque peu d'adoucissement que la poudre de charbon procure seule au fer fondu cet adoucissement peut paraître singulier.

Comment se peut-il donc faire qu'elle n'augmente pas la dureté de la fonte, qu'elle lui ôte plutôt des souffres que de lui en donner, que les souffres du fer tiennent bien plus que ceux de l'acier et encore plus que ceux de la fonte ; les souffres du charbon s'échappent plus aisément que ceux du fer, le fer les boit s'il est entouré de charbon. Au contraire la fonte qui est surchargée de souffres, qui est en quelque sorte une espèce de pyrites, mais plus métallique que l'ordinaire, laisse plutôt échapper ses souffres en plus grande quantité que le charbon ne laisse échapper les siens.

J'ai employé la même matière (os calcinés) plusieurs fois sans avoir aperçu de différence sensible dans son effet : peut-être pourtant qu'à force de servir, elle se chargerait de trop de sels ; en la

calcinant de nouveau et la lessivant ensuite, on la dépouillerait encore tant de ceux qui peuvent être venus du fer que des sels d'alcalis du charbon. On peut hardiment s'en servir trois à quatre fois, sans y ajouter de nouveau charbon.

Je crois qu'il y a des os qui peuvent valoir mieux les uns que les autres, mais j'ai fait usage indifféremment de tous ceux qu'on m'a ramassés, sans m'embarrasser de quelques animaux et de quelques parties d'animaux ils venaient, je les ai tous trouvés très bons.

Outre les différentes matières dont j'ai dit ci-devant que j'avais fait des épreuves, j'ai cru en devoir essayer quelques-unes, qui venant des animaux ont quelque analogie avec les os. J'ai fait calciner des coquilles d'huîtres, des coquilles de moules de rivière, des coquilles de limaçons de jardins et de chacune de ces différentes chaux j'ai entouré le fer de différents creusets. Dès que la chaux ordinaire est capable de procurer quelque adoucissement il était sans difficulté que le fer s'adoucirait dans ces dernières, il s'y est aussi adouci. Une autre espèce d'os de poisson que j'ai cru encore devoir éprouver sont les os de sèche. Ils sont très connus des orfèvres, des metteurs en œuvre, des diamantaires, ces ouvriers s'en servent

pour mouler de petits ouvrages. Ces os calcinés ont encore adouci le fer. Mais le fer s'écaille avec toutes ces différentes chaux comme avec celles des véritables os, si on ne modère leur effet par une addition de charbon.

J'ai encore fait une épreuve par laquelle je finirai ce mémoire. Je me suis servi du fer même pour adoucir le fer fondu. En bien de circonstances je n'ai mis dans mon fourneau que des plaques de fer fondu : après qu'elles ont eu soutenu le feu pendant un ou plusieurs jours, et que ce feu a été entièrement éteint, la surface de chaque plaque sur laquelle avait agi le feu, s'est retrouvée recouverte d'une couche assez épaisse d'une poudre d'un très beau rouge et quelquefois d'un rouge tirant sur le violet. J'ai fait balayer les plaques, j'en ai fait détacher et ramasser toute cette poudre. Ce que nous venons d'en dire et la place où elle se trouve, montre assez qu'elle n'est qu'un fer brûlé. Comme cette poudre est bien éloignée d'avoir la quantité de parties huileuses et salines dont elle se peut charger, j'ai pensé qu'elle serait très propre à adoucir le fer fondu qui en serait enveloppé.

Elle l'a adouci parfaitement et il m'a paru qu'elle l'a adouci bien plus promptement que l'on fait toutes les autres matières.

QUATRIÈME MÉMOIRE

Des fourneaux propres à adoucir les ouvrages de fer fondu.

Les creusets ou capacités équivalentes dans lesquelles on arrange le fer fondu doivent être lutées comme lorsqu'il s'agit de faire de l'acier et cela pour d'autres considérations. Le mélange de poudre de charbon avec celle d'os, a été trouvé nécessaire, si le creuset avait air le charbon se brûlerait.

D'ailleurs c'est une règle générale que tout fer qui chauffe pendant longtemps dans un endroit où l'air a quelque entrée libre est sujet à s'écailler.

J'ai pourtant voulu voir si l'adoucissement ne se ferait pas plus vite lorsque les soufres et les sels auraient la liberté de se sublimer. J'ai pris un creuset long et étroit, je l'ai rempli de couches d'os et de couches de fer fondu jusqu'à environ la moitié de sa hauteur. Là j'ai mis une cloison de terre qui empêchait la communication de cette partie avec la partie restante. J'ai rempli celle-là comme l'autre de lits d'os et de lits de fer fondu, et j'ai laissé le creuset ouvert, afin que les soufres et les sels des matières de la moitié supérieure du creuset eus-

sent la liberté de s'évaporer. Après la durée de feu que j'ai cru nécessaire, j'ai comparé les morceaux de fonte qui étaient en bas avec ceux qui étaient en haut. Je n'ai pas trouvé de différence assez considérable pour faire regretter de ce que la poudre de charbon empêcherait qu'on ne laissât les creusets ouverts. Mais ce qui, surtout, est nécessaire pour adoucir le fer fondu, c'est d'avoir la facilité d'apprendre ce qui se passe dans les creusets.

Pour adoucir le fer fondu, nous nous servirons donc des mêmes fourneaux dont nous nous sommes servis pour convertir le fer en acier. Nous aimerions mieux employer ici les fourneaux où l'air entre librement. Ce n'est pas que les soufflets ne fissent bien, mais si on veut s'en servir il faut être attentif et modérer leur vent, la chaleur ne doit pas être aussi considérable dans cette dernière opération que dans la précédente. Les barres de fer en soutiennent un degré qui ferait fondre encore une fois nos ouvrages de fer fondu. Après tout, les trous par lesquels nous pouvons avoir vue dans les creusets, permettent de connaître où en est la chaleur, de juger qu'il est à propos de la diminuer. Si l'air qui

entre dans le fourneau n'y est pas poussé par des soufflets, on multipliera les ouvertures du cendrier.

Ce fourneau sera chauffé avec du bois et sera plus haut que ceux dont nous avons donné les mesures, pour la conversion du fer en acier. La flamme du bois s'élève à une autre hauteur que celle du charbon. Le haut de ce fourneau quoique élevé aura donc une chaleur suffisante ; d'ailleurs il pourra être occupé par les ouvrages les plus minces. Dès qu'on donne plus de hauteur au corps du fourneau on trouvera plus commode d'en enterrer le bas en partie.

Dès qu'on chauffera avec le bois on pourra hardiment former les creusets avec les plaques de fonte, il faudra les prendre épaisses : cette épaisseur ne doit pourtant guère dépasser un pouce.

A mesure qu'elles serviront elles deviendront de plus minces en plus minces ; à la fin de chaque fournée la face sur laquelle le feu aura ag sera recouverte d'une couche assez épaisse d'une poudre rouge, c'est un safran de Mars qu'on fera bien de ramasser ; il y a les propriétés du safran de Mars ordinaire, et est préparé sans addition de soufres ; plus les plaques sont minces, plus elles sont exposées à se voiler, afin qu'elles ne se courbent pas au point d'en être trop contrefaites, ce qui changerait la figure, et les proportions des creusets, et des foyers ; on aura soin de les retourner après chaque fournée.

Au reste on proportionnera la grandeur des creusets de chaque fourneau à la quantité et à la grandeur de chaque ouvrage, qu'on y veut renfermer. La durée du feu nécessaire deviendra plus grande à proportion de l'augmentation de la capacité, mais toujours se souviendrait-on que, pour

ménager le bois, on ne doit pas élargir beaucoup les foyers ou cheminées.

La manière d'arranger les ouvrages de fer fondu dans le fourneau ne demande aucune explication ; nous avons dit ailleurs qu'on ne saurait trop mettre de notre mélange d'os et de charbon pulvérisé mais qu'il en a assez quand il y en a suffisamment pour séparer les pièces. Il serait aussi inutile d'avertir de placer les pièces les plus épaisses et celles qui ont le plus besoin d'être adoucies dans les endroits où la chaleur est la plus vive. Mais nous avertirons de bien ôter le sable qui pourrait être resté sur chaque pièce quand on l'a retiré du moule ; les endroits où on en aura laissé ne s'adouciront pas, ou s'adouciront beaucoup moins que le reste.

Après avoir bien essayé si une chaleur modérée est plus longue qu'une chaleur violente, je me suis convaincu que la chaleur ne saurait être trop grande, pourvu qu'elle ne le soit pas au point de faire fondre les pièces. Mais on ne peut encore donner de règles générales sur la durée du feu que demandent les ouvrages pour être adoucis ; lorsqu'on chargera le fourneau on aura soin de placer à la hauteur de chacune des ouvertures des morceaux de fer fondu de différentes épaisseurs, du plus mince au plus épais. Je les fais mouler en petits cylindres, en forme de baguettes, qui ont chacune de longueur au moins la moitié de celle du fourneau ; et je fais faire de ces baguettes de différents diamètres, celui de quelques-unes est presque égal à l'épaisseur des plus grosses pièces qui doivent être adoucies jusqu'au centre, les petites doivent apprendre si les pièces minces ne sont pas en danger de fondre.

CINQUIÈME MÉMOIRE

Des précautions avec lesquelles on doit recuire les ouvrages de fer fondu. Des changements que les différents degrés d'adoucissement produisent dans ce fer. Comment on peut redonner aux ouvrages de fer fondu la dureté qu'on leur a ôtée. Et comment peut-on et jusqu'à quel point adoucir le fer forgé ?

Quand on a retiré du fer fondu du fourneau, et qu'on l'a laissé refroidir, à la seule inspection de l'extérieur, on peut juger s'il a été adouci en partie ou s'il ne l'a pas été du tout. Le fer qui s'est refroidi dans le moule a une couleur bleuâtre d'un bleu ardoisé ; s'il a conservé cette couleur ou si, après lui avoir été ôtée par une sorte de rouille ou autrement, elle lui est revenue dans le fourneau,

ce fer n'est point du tout adouci. La première manière d'essayer c'est de le tâter à la lime ; la lime mord rarement celui qui a cette couleur bleuâtre.

Mais si la couleur est terne, d'un brun tirant sur le café, ou plus noirâtre, on peut compter sûrement que la surface est douce.

Ce fer fondu est donc devenu limable. Cassons-le pour observer les changements sensibles qui se sont faits dans son intérieur, mais commençons par casser un morceau qui ne soit pas adouci à fond ; nous trouverons un changement de couleur dans toute la cassure ; et si la fonte était blanche, elle sera moins blanche.

Ce changement de couleur s'est étendu jusqu'au

centre d'un morceau, avant qu'il s'y soit fait aucun adoucissement considérable, il le précède souvent de longtemps, à peine la plus mince couche de la surface est adoucie, que tout a changé de couleur comme nous venons de le dire.

Mais le changement le plus remarquable qui se fait dans le fer pendant l'adoucissement est celui de la texture ; celle de la fonte blanche qui était compacte, où à peine pouvait-on distinguer quelques lames, même avec le microscope, devient plus rare : tout autour de la surface on aperçoit un cordon composé de grains ; partout où cette fonte a pris des grains elle est adoucie.

Insensiblement les grains s'étendent et gagnent jusqu'au centre. A ce moment le fer fondu y est adouci ; dans les endroits qui commencent à adoucir les grains n'y sont que parsemés, ils sont écartés les uns des autres. A mesure que l'adoucissement continue, la couleur du fer fondu devient plus terne que celle de la fonte blanche. Mais une singularité à remarquer, c'est qu'au milieu de ces grains il y en a de plus gros et très noirs.

Suivons encore le changement un peu plus loin ; si on continue ce recuit plus longtemps, il se forme autour de la surface un cordon blanc, brillant, qui est un véritable cordon de fer, malléable comme le fer ordinaire.

Enfin le recuit est-il encore poussé plus loin, le cordon blanc s'étend, tout l'intérieur reprend des nuances de plus claires en plus claires, et ensuite de la blancheur. Mais ce qu'il y a encore plus à remarquer, c'est le changement de textures qui continue à se faire ; il y a des fers fondus dont la cassure devient précisément semblable à celle des fers à lames de la première et de la seconde en espèces. Il ne serait nullement possible en comparant la cassure de ces fers avec celle de nos fers fondus, de décider lesquels sont des fers fondus ; elles montrent l'une et l'autre des lames très grandes mêlées avec de plus petites, et d'un très grand éclat ; s'il y a quelque avantage du côté de la blancheur et du brillant il est en faveur de notre fer fondu.

Si ces fers rendus limables sont chauffés et trempés comme l'acier ordinaire, ils prennent de la dureté par la trempe ; et si on les chauffe ensuite sur les charbons, ils redeviennent limables, comme le redeviennent les aciers ordinaires.

Dès que le cordon gris composé de grains est devenu blanc et composé de lames, alors il est fer : qu'on le trempe en cet état et on trouvera précisément ce qu'on a trouvé dans nos aciers, qui ont été adoucis par des recuits qui sont devenus enve-

loppés d'une couche de fer, après la trempe la lim^e mordra sur la première surface, elle est fer. Mais elle ne mordra pas par-delà l'endroit où cesse le cordon de fer.

De tout cela, il résulte que, si on pousse l'adoucissement seulement jusqu'à un certain point, l'ouvrage de fer fondu est devenu un ouvrage d'acier, que si on pousse le feu plus loin, il est d'acier revêtu de fer, et enfin un adoucissement encore plus long, le rend pur fer.

On demandera apparemment pourquoi le fer qui commence à s'adoucir devient de moins blanc en moins blanc, et on demandera surtout pourquoi étant devenu gris il retourne au blanc ?

Les soufres et les sels qui se sont évaporés, ont trouvé des routes plus commodes en certaines directions que dans d'autres ; en se faisant passage ils ont divisé par parcelles la masse du fer.

De cela seul que ce fer est devenu grainé, il doit paraître moins blanc qu'il ne le paraissait, mais outre cela chacun de ces grains est devenu plus spongieux.

Nous avons rapporté en passant, comme une singularité qu'il paraît parsemé en certains endroits de grains très noirs, ces grains noirs peuvent eux-mêmes nous faire voir d'où vient la couleur brune ; du reste, au microscope, j'ai vu que ce que je prenais pour des grains noirs étaient des cavités beaucoup plus considérables que celles qui sont ailleurs.

Une des premières fois que je commençai à adoucir le fer en grand, il y eut un événement qui me paraît bien mériter d'être rapporté.

Lorsque je retirai du fourneau des marteaux pesants de porte cochère, je ne fus pas peu surpris de les trouver légers ; de massifs que je les y avais mis, ils étaient devenus creux, ce n'étaient plus des tuyaux contournés. Ils n'avaient perdu que quelques feuillages, qui s'en étaient allés avec les écailles ; regardés attentivement, on remarquait quelques petits trous où la matière de l'intérieur s'était écoulée.

Pour le dénouement de ce fait, il suffit néanmoins de se souvenir que le fer forgé ne saurait être mis en fusion par le feu ordinaire ; une certaine épaisseur de nos marteaux a été adoucie, a été convertie en fer forgeable, ou en acier. La chaleur a eu beau alors augmenter, les marteaux ont conservé leur forme extérieure : leur intérieur était de la fonte qui se trouvait renfermée dans une sorte de creuset de fer non fusible.

Entre les ouvrages qu'on peut faire de fer fondu, il y en a qui ne demandent à avoir que leurs pre-

mières couches adoucies, tels que ceux qui n'ont besoin que d'être travaillés à la lime, aux ciseaux et ciselets.

D'autres ouvrages de fer fondu veulent être adoucis jusqu'au centre, tous ceux qu'on doit percer de part en part avec le foret sont, dans ce cas, tous ceux où il faut tailler des écrous. La durée du feu les amènera toujours à ce point quand on voudra.

Enfin d'autres ouvrages ont non seulement besoin d'être adoucis mais ils ont besoin de devenir moins cassants, d'acquiescer de la souplesse jusqu'à un certain point. C'est ce que nous appellerons ici prendre du corps.

Les parties de notre fer, qui doit son état au radoucissement, sont écartées les unes des autres ; elles laissent entre elles des vides, savoir, une partie des espaces qui étaient occupés par les sels et les sulfures qui lui ont été enlevés : chauffe-t-on ce fer à un degré de chaleur, et le veut-on forger rudement, on écarte les parties mal unies ; en réitérant les chaudes, on parviendrait à réunir ces endroits gercés.

Mais nous le répétons, nos ouvrages de fer fondu ne demandent pas d'être façonnés au marteau, on ne moule point le fer pour avoir la peine de le forger. Ils peuvent au plus demander à y être un peu redressés et il sera facile de les mettre en cet état.

Par l'adoucisement, j'ai pourtant mis du fer fondu en état de se laisser travailler à chaud, comme eût fait du fer en barres. On fera plus si les pièces sont minces. Si on réitère les recuits assez de fois, on leur fera acquiescer une souplesse qui, à froid, surpasse celle de certains fers : j'ai souvent si bien adouci des pièces minces, comme sont des gardes d'épées, des dessus de tabatières, que je les ai conduites au point de se laisser plier en deux à coups de marteau.

Des recuits poussés plus loin donneront aussi une sorte de flexibilité, du corps jusqu'à un certain degré, aux pièces épaisses surtout si elles sont de certaines espèces de fonte.

Nous avons supposé tous nos ouvrages de fonte blanche ; ceux de la fonte grise ou même noire, limables avant le radoucissement sembleraient promettre encore un adoucissement plus considérable ; tout au plus craindrait-on pour eux qu'ils ne fussent des fers d'une vilaine couleur. Mais ce n'est pas par où ils pèchent le plus. Les ouvrages déjà traitables à la lime avant d'avoir été recuits, sont à la vérité plus limables ; mais quelques adoucis qu'ils soient, ils ne prennent jamais corps

comme des ouvrages de fonte blanche. Les fontes grises ne peuvent guère par le radoucissement être ramenées à se laisser forger à chaud et encore moins à froid, comme nos fontes blanches.

Au reste, toute fonte ne sera pas capable d'acquiescer un égal degré de flexibilité, quoiqu'elle prenne au recuit la même nuance, il y en a qui doivent l'emporter beaucoup sur les autres de ce côté-là. Il est probable que les fontes qui donnent les fers forgés les plus liants, donneront aussi les ouvrages de fer fondu qui auront le plus de corps. J'ai trouvé des fontes qui sont devenues flexibles à un point qui m'a surpris, il n'y a point de fer qui le laissât mieux plier que les morceaux des fontes dont je veux parler ; mais malheureusement, j'ignorais le fourneau d'où ils étaient venus.

Nous avons dit que la plupart des fontes qu'on a jusqu'à présent coulé en moule en sortant du fourneau, où la mine a été fondue sont des fontes grises, mais si à l'avenir on veut mouler de la fonte immédiatement à la sortie du fourneau on choisira les mines qui donnent la plus blanche, et on la rendra encore plus blanche, et le plus liquide qu'il sera possible. La qualité des mines entre au moins pour quelque chose, et peut-être pour beaucoup dans la couleur de la fonte. Nous avons des provinces comme le Berry dont presque toute la fonte est blanche, et nous en avons d'autres comme le Nivernais dont presque toute la fonte est grise. Les fontes grises peuvent devenir blanches par les précautions avec lesquelles on les fonde, mais il est vraisemblable que celles qui le sont naturellement, composeront des ouvrages de fer fondu qui auront plus de corps.

Nous avons distingué différents degrés d'adoucisement qui conviennent à différentes espèces d'ouvrages ; mais il n'est pas possible d'entrer dans le détail de la durée du feu qu'ils demanderont, car elle doit être proportionnée à l'épaisseur des ouvrages.

Tout le fourneau ne doit pourtant pas être rempli de pièces si épaisses, il y en aura de beaucoup plus minces, dans les endroits où la chaleur est la moins violente.

L'opération sera plus prompte et adoucira le fer plus profondément si, au lieu de bois, on emploie le charbon, et qu'on excite son ardeur par un soufflet, mais aussi sera-t-on plus attentif alors à voir jusqu'où va la chaleur des ouvrages. On sera instruit de leur degré de chaleur, comme du succès de l'opération, par les baguettes d'essais dont nous avons assez parlé.

Quelque attention qu'on ait à donner aux pièces

les places qui leur conviennent le mieux, par rapport à leur épaisseur, il arrivera souvent que quelques-unes pour être elles-mêmes en différents endroits d'épaisseur très inégale, ne seront pas suffisamment adoucies dans dix à douze heures. Ces différentes épaisseurs peuvent se trouver dans le même ouvrage.

Le remède sera facile : ce sera de trier celles-là et de les garder pour une seconde fournée. La première fournée, celle où on n'aurait brûlé qu'une voie de bois, ne procurera non plus un adoucissement suffisant aux ouvrages épais qui demandent à être adoucis jusqu'au centre, au point de pouvoir être percés ni même à ceux des ouvrages minces, qui doivent être adoucis au point de se laisser plier à froid. On les recuira une seconde et une troisième fois, jusqu'à ce qu'on les ait amenés au degré où on les veut. Il y auroit encore plus d'épargne à mettre dans différentes fournées les ouvrages qui demandent différents degrés d'adoucissement, on profiterait de la chaleur acquise en ne les laissant point refroidir et continuant le feu jusqu'à ce qu'ils fussent adoucis à fond.

Quoique nous ne puissions entrer dans un juste détail de la dépense des recuits, on peut vouloir en prendre une idée grossière; on peut craindre qu'outre les frais du recuit le fer adouci ne coûtât davantage à réparer que les autres métaux. Pour donner quelque idée de l'épargne, je citerai seulement deux ouvrages du même genre que je fis faire d'abord pour m'instruire moi-même. Le premier est le marteau de la Porte de l'Hôtel la Ferré, que nous avons cité dans le premier Mémoire; j'en fis prendre le modèle. Les frais du modèle ne doivent pas entrer en ligne de compte, parce qu'ils y entrent pour très peu de chose; le même modèle servant à faire une infinité d'ouvrages

semblables, ce qu'il a coûté se distribue sur eux tous. Ayant donc le semblable de ce marteau, j'en ai fait jeter plusieurs moules, que j'ai ensuite fait adoucir et réparer. Ces marteaux très beaux et très finis ne me sont pas revenus chacun à 20 livres pendant que l'original en avait coûté 700.

Nous n'avons rien à ajouter ici sur la manière de piler le charbon. Nous ne saurions que répéter ce que nous avons dit tant de fois sur la nécessité de bien luter les jointures. La flamme est capable d'empêcher l'adoucissement, et qui plus est de rendre dur avec le temps ce qui a été adouci.

Aussi quand, par quelque accident, la surface des ouvrages de fer fondu se sera un peu brûlée, qu'elle se sera écaillée, l'écaille sera toujours dure. Qu'on tâte alors l'ouvrage de fer fondu à la lime, il lui résiste. Mais qu'avec la panne d'un marteau on frappe doucement sur cet ouvrage, la partie brûlée la partie écaillée se détachera par parcelles.

Dans les métaux, comme dans les pierres, le degré du poli est toujours proportionné au degré de dureté : une clef extrêmement finie comme sont celles qu'on nous apporte d'Angleterre, perdrait bientôt son lustre si, avant d'achever de la polir, on n'avoit eu la précaution de la tremper. On trempe l'acier d'autant plus dur qu'on veut le polir avec plus de soin.

Quoique le fer fondu soit l'objet de notre nouvel Art, nous devons apprendre que cet Art sera même utile au fer forgé.

Nous ajouterons seulement par rapport à notre fer forgé, que selon la qualité dont il sera, il pourra soutenir des recuits plus ou moins longs que les différences d'épaisseur doivent aussi entrer en considération et que c'est le fer mince qui réussira le mieux.

SIXIÈME MÉMOIRE

Où on parcourt les différents ouvrages qui peuvent être faits de fer fondu ; où on avertit des précautions avec lesquelles quelques-uns veulent être jetés en moule, et recuits ; et où on fait connaître aussi quels sont les ouvrages qui ne doivent pas être faits de cette sorte de fer.

Faire de plus beaux ouvrages, les faire aussi finis et à meilleur marché, sont les degrés de perfection où l'on doit travailler à conduire les Arts ; et ce sont des avantages que notre nouvel art parait

avoir, dès sa naissance, sur ceux qui ont jusqu'ici mis le fer en œuvre.

La serrurerie est de tous les arts en fer celui qui nous présente ce métal sous plus de formes différentes.

Les modèles des grilles, balcons, rampes, coûteront, mais ne coûteront pas autant qu'on se l'imaginerait. Ces ouvrages sont composés d'un nombre borné de pièces qui se répètent ; on n'aura qu'à faire un modèle de chacune de ces pièces, qu'on assemblera après qu'elles auront été adoucies.

Les pièces massives qui entreront dans les ouvrages de cette espèce, ont assez de solidité d'elles-mêmes, elles n'ont pas besoin de prendre du corps à l'adoucissement, ce sera assez de mettre leurs premières couches en état d'être usées par la lime et coupées par le ciseau. Si on avoit besoin de les percer, il faudrait les adoucir davantage, mais on abrègera le temps de recuit si on fait réserver les trous dans les moules.

Les marteaux ou boucles des portes cochères, et autres sont aujourd'hui, presque sans ornements et coûtent autant que coûteront des marteaux de fer fondu très ornés. L'endroit qui doit faire partie de la charnière, est un de ceux qui fatigue le plus et qui doit être percé ; pour l'exempter d'une durée de recuit que le corps du heurtoir ne demande pas, dans cet endroit, je fais mettre dans le moule une pièce de fer forgé, de figure, grandeur et épaisseur convenables ; quand la fonte est jettée en moule, elle enveloppe une partie du fer forgé, elle s'y applique exactement, la pièce de fer forgé est alors aussi solidement unie avec la fonte qu'elle le serait si elle était de fonte même et a l'avantage de se laisser percer sans avoir besoin de recuit.

Des feux pour les cheminées seraient encore des ouvrages très chers. Mais si j'en parle actuellement, c'est principalement pour faire remarquer que j'en ai fait recuire qui avaient été jettés en moule, avec une précaution qu'il est bon de ne pas ignorer. La tige du fer s'assemble avec la base à vis et à écrous. Le bout de la tige doit porter cette vis ; on avoit mis dans le moule une pièce de fer forgé, taillée en vis pour le bout ; cela n'enchérit en rien la façon et est de la besogne épargnée pour le recuit.

N'oublions pas pourtant un avertissement important, savoir : que les parties des pièces de fer forgé, comme les branches des crampons des marteaux, que ces parties, dis-je, qui sont de fer forgé, pourraient dans un long recuit, devenir cassantes et plus cassantes même que le fer fondu.

Pour aller au-devant de cet inconvénient, on aura soin d'entourer ces parties de matières qui puissent fournir plus de parties huileuses que notre composition propre à adoucir.

Le charbon en poudre fera cet effet.

On peut encore arranger ces pièces comme les autres dans le fourneau et lorsqu'elles seront en place, mettre la poudre de charbon tout autour de ce qui est de fer forgé.

Mais pour revenir à nos ouvrages de serrurerie, les cages des serrures, ou en termes de l'Art, les palastres, même dans les plus superbes apparte-

ments sont simples, unis ; si on leur veut quelque beauté, on est contraint de les faire de cuivre, quoiqu'il soit toujours désagréable de toucher ce métal : on fera en fer fondu, les palastres les plus ornés, et les plus recherchés.

Platines, targettes, verrous, fiches en un mot, toutes les serrures, qui n'ont point à fatiguer, pourront être du plus grand goût, et ne coûteront guère davantage que les unies coûtent aujourd'hui.

Les fourbisseurs feront jeter en moule des gardes d'épées et ils pourront finir en quelques jours des ouvrages, qui les tenaient plusieurs mois. Ils ont déjà leurs modèles, il ne leur en faudra pas d'autres, que ceux qu'ils font mouler en cuivre ou en argent. A la vérité ces épées n'approcheront plus du prix de celles d'or massif, comme elles ont fait ci-devant mais on en débitera davantage. Les boucles de ceintures, de souliers, les étuis, les clefs de montre, et une infinité de colifichets, n'occuperont plus, comme ils ont fait, les ouvriers pendant autant de temps que les plus grands ouvrages.

Les rouës de diamantaires, les rouës à aplatir ou à écacher les fils d'or et d'argent, pourront être faites de fer fondu, ce sont des ouvrages chers.

Je crois que l'épronnerie y trouvera aussi des avantages, les branches de la plupart des brides fatiguent peu, et pourront être fondues ; ce sont des plus difficiles ouvrages de la forge. J'en ai fait faire qui ont bien réussi. Si on est tenté d'y faire jeter des ornements, on n'aura qu'à les demander, on sera maître d'en placer partout : les filets réussiront encore mieux.

Un art à qui notre adoucissement du fer doit épargner du temps et qui s'en trouvera en état de faire les plus beaux ouvrages, est l'arquebuserie ; les platines de fusils seront excellentes de fer fondu.

Avec le temps, le Roi tirera peut-être un avantage plus important de ce nouvel Art. C'est par rapport à son artillerie, surtout par rapport à celle de Mer. Il paraît incontestable qu'au moyen de notre nouvel Art on rendra les canons de fer fondu meilleurs qu'ils ne le sont aujourd'hui ; le fer adouci sera certainement moins cassant ; mais le grand objet, sera de savoir si on peut les amener au point de ne plus crever par éclats lorsqu'ils seront adoucis.

J'ai averti qu'il y a des fontes qui donnent des fers adoucis, incomparablement plus flexibles que d'autres fontes ne les donnent, il faut donc essayer les différentes fontes. Pour amener des pièces de fer fondu aussi épaisses que le sont des canons au degré de souplesse nécessaire, il faudra leur donner de longs recuits avec nos poudres. Mais la durée

des recuits n'ira aussi loin qu'on pourrait se l'imaginer.

Après avoir parcouru les usages qu'on peut faire de notre fer fondu, dans le grand, dans le beau et même dans le terrible, nous allons le considérer par rapport à des usages moins nobles, voir l'utilité dont il peut être dans les cuisines. J'avouerai pourtant que ce n'est pas le côté par où il me paraît qu'on en doive faire moins de cas. Dans le fond, il vaut mieux perfectionner les ustensiles qui y sont propres, que les armes meurtrières, cette façon de penser n'est pas la plus élevée, elle est au moins la plus humaine, et peut-être la plus sensée.

Trois raisons ont empêché que les ustensiles de fer fondu de cette espèce ne devinssent d'un usage plus général : 1^o Ils ont toujours un air mal-propre. 2^o Ils sont plus épais que ceux de cuivre forgé, et par là plus difficiles à échauffer. 3^o Enfin, ils se cassent aisément. On moule aujourd'hui ces vases moins minces qu'on ne le pourrait afin qu'ils soient plus en état de résister aux chocs ; si cependant on ne trouve pas ceux qu'on fera mouler par la suite, assez minces au sortir du moule, on achèvera le reste après qu'ils auront été adoucis : on les travaillera sur le tour.

La rouille de fer n'est point à craindre et est peu considérable dans les vaisseaux de fer fondu. Au rapport des ménagères, ces vases ne donnent aucun goût à ce qui a cuit dedans, elles assurent que la soupe est excellente dans les marmites de fer fondu. Mais enfin, si on veut encore les défendre contre la rouille, rien n'empêchera qu'on les étame. J'ai fait étamer par des épronniés des marmites de fer fondu qui ont très bien pris l'étain.

L'usage de tout ce qu'on nomme batterie de cuisine, est si grand et si général, que je n'hésite pas à regarder cet objet comme un des plus importants de notre Art.

On pourra avec le fer fondu faire à l'avenir des poêles dignes d'échauffer les appartements, où ils trouvent place dans le Royaume depuis quelques années.

Les grands vases à fleurs, dont on pare les par-

terres, auront en fer la forme la plus gracieuse, comme en bronze, et pourront être aussi bien réparés.

Enfin, on pourra mouler en fer une infinité de statues, de bustes. Le petit cheval de fer fondu qui est dans le cabinet de sa Majesté, à Versailles, ne sera plus au nombre des ouvrages rares par leur matière.

Voudra-t-on dorer ou argenter nos ouvrages de fer fondu, on n'y trouvera nul obstacle, ils se doront ou argenteront comme le cuivre ; ils auront aussi, comme le fer, leur espèce de dorure particulière ; on pourra les dorer d'or damasquiné, comme on dore les fusils et les gardes d'épées. Des feux, des flambeaux, des bras, des lustres de fer fondu, à qui on ferait prendre le violet et sur lesquels on jetterait ensuite de légers ornements d'or damasquiné, feraient de magnifiques ouvrages, et d'un grand goût.

On ne doit chercher à faire de ce fer que des ouvrages dont le travail est long à la lime et au marteau ; tout ce qui ne demande pas de longues façons, doit se faire de fer forgé. Nous avons dit qu'on ferait de fer fondu des clefs chargées d'ornements, ce serait mouler pour peu de profit et courir risque de moins bons ouvrages que de faire de fer fondu des clefs ordinaires. Il y a d'autant plus à gagner sur les ouvrages de fer fondu, qu'ils seraient plus longs à finir de la manière ordinaire, et il en restera assez de ceux-ci pour que les avantages de notre nouvel Art s'étendent loin.

Au reste, nous n'avons encore jetté que les fondements d'un art qui a besoin d'être perfectionné, nous ne l'avons que dégrossi, nous n'avons pas tout tenté, nous n'avons pas tout prévu ; des pratiques en grand, souvent répétées, apprendront encore beaucoup. Nous espérons que ceux qui feront des expériences propres à contribuer aux progrès de cet Art, ne les envieront pas au public ; pour nous, nous lui communiquerons certainement ce que nous pourrions découvrir à nouveau sur cette matière, et ce qui nous reste sur diverses autres matières qui y ont du rapport, qui nous ont fourni des observations que nous croyons devoir être utiles, et qu'on trouvera peut-être assez curieuses.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE des CONDITIONS D'ESSAIS DE LA MALLÉABLE

par MM. L. PIEDBŒUF et M. RÉMY

*Délégués Techniques de l'Union des Fondateurs de Malléable d'Herstal,
Membres de l'Association Technique de Fonderie de Liège.*

NOTE DE M. L. PIEDBŒUF

RECHERCHES ET PROPAGANDE A FAIRE

A la suite des propositions faites par M. RÉMY au Congrès de Liège, en 1921, au sujet des essais de la malléable, j'ai cherché à établir dans nos usines, les Fonderies et Ateliers SIMONON, de HERSTAL, un système efficace et d'une application facile, pour le contrôle journalier de la fabrication.

Analyse chimique: Les fontes en gueuses que nous utilisons ont une composition assez régulière, de sorte que nous pouvons nous borner à contrôler les corps dont la teneur est sujette à variation.

Les fontes grises contiennent environ 3,5 de carbone et 1 0/0 de silicium. La teneur en phosphore ne dépasse pas 0,15 et celle du soufre 0,05. Nous avons constaté que seule la teneur en silicium était assez variable, de sorte que ce corps est contrôlé pour chaque wagon reçu. Il faut, en effet, que la teneur en silicium du lit de fusion soit toujours maintenue dans certaines limites, si l'on veut éviter des difficultés.

La fonte blanche contient jusque 0,15 de soufre, ici un contrôle du soufre s'impose également. Bien entendu, nous combinons notre lit de fusion de façon à réduire au minimum la quantité de fonte blanche employée.

Il est également utile de contrôler périodiquement la teneur en silicium et en soufre des pièces crues. Ce contrôle a une importance considérable pour les fonderies comme la nôtre, faisant principalement les pièces légères.

Par suite de la forte proportion de jets, il peut y avoir enrichissement progressif en soufre. Lorsque la teneur en soufre a une tendance à devenir plus

forte, nous faisons subir aux jets un traitement désulfurant spécial de façon à la ramener à une proportion normale.

Essais de résistance: Après avoir essayé les divers types d'éprouvettes de traction et de pliage, nous nous sommes arrêtés à l'éprouvette du pliage du type américain, épaisseur 12,7 à 1,5 mm.

Ces essais de pliage nous donnent de très bons résultats au point de vue du contrôle journalier de la fabrication. Nous sommes arrivés très rapidement à établir un contrôle efficace en prenant deux éprouvettes à chaque coulée. L'une sert à vérifier l'aspect de la fonte crue, l'autre à déterminer la résistance par le pliage après décarburation. Après pliage les éprouvettes passent au contrôle microscopique afin de se rendre compte de la constitution de la fonte au point de vue métallographique. Cette vérification permet de suivre de près la décarburation.

La marche des fours à décarburer est, en outre, surveillée au moyen de pyromètres enregistreurs.

En ce qui concerne l'application générale d'éprouvettes de traction, je ne crois pas que dans l'état actuel de la question, il soit utile de pousser les fonderies dans ce sens. Les difficultés qu'entraîne le moulage des éprouvettes et l'exécution des essais, ainsi que les résultats très irréguliers qu'ils donnent, rebuteront beaucoup de fondeurs.

Il serait utile d'arriver le plus rapidement possible à établir un système de contrôle qui puisse être adopté par le plus grand nombre de fonderies et j'estime que le genre d'essais auquel nous nous sommes arrêtés, aux fonderies et ateliers Simonon, permettrait d'atteindre ce but.

Une fois l'idée du contrôle admise, on se rendra compte des améliorations qu'il y a moyen d'obtenir dans la fabrication et on arrivera au fur et à

mesure de l'amélioration du produit, à pouvoir établir des conditions d'essais plus rigoureuses.

A ce moment l'emploi plus général d'éprouvettes de traction pourra être envisagé. Ce n'est d'ailleurs pas autrement que les Américains ont procédé pour finir par atteindre des résultats vraiment extraordinaires.

En tout cas nous ne pouvons rester inactifs eu égard de ce qui se fait en Amérique et en Angleterre et récemment aussi en Allemagne, notre plus redoutable concurrent sur les marchés du Continent et spécialement les marchés français, italien et hollandais.

A ce point de vue, je crois qu'il est utile de vous faire connaître le texte d'un questionnaire adressé au groupement des fonderies de malléable allemand par le Comité institué pour l'établissement des conditions d'essais et de réception de la malléable :

- 1° Quelle composition chimique faut-il prescrire ?
 - 2° Que faut-il prescrire pour l'essai physique ; quel genre d'essais de résistance doit-on prescrire ?
 - 3° Quelle forme d'éprouvette doit-on prévoir pour l'essai de traction ?
 - 4° Quelles sont les valeurs minima à atteindre pour la charge de rupture et l'allongement ?
 - 5° Peut-on subdiviser la malléable en différentes catégories de qualité, en se basant sur les valeurs de la résistance et de l'allongement ?
 - 6° Les essais de traction sont-ils nécessaires pour de la malléable ordinaire, ou faut-il se borner aux essais directs sur un certain nombre de pièces ?
 - 7° Faut-il chercher à établir certaines éprouvettes-types pour faciliter des essais comparatifs de la ténacité du métal ?
 - 8° Quel est le poids spécifique à considérer comme normal ?
 - 9° Quel est le retrait normal à prévoir ?
 - 10° Quelles conditions spéciales doit-on prescrire pour la malléable destinée aux induits et inducteurs de magnétos et dynamos ?
- Le rapporteur propose d'y adjoindre les questions suivantes :
- a) Comment peut-on couler pratiquement de bonnes éprouvettes ?
 - b) Quelle tolérance peut-on admettre normalement entre les dimensions des pièces coulées et les pièces-types ou plans ?
 - c) Les rebuts provenant de modèles mal conçus sont-ils à charge de la fonderie ou du client ?

Vous voyez que de ce côté aussi on cherche à améliorer la fabrication et même à imposer des conditions d'essais et de réception. C'est donc une question vitale pour les fonderies françaises et belges de ne pas se laisser devancer et de se mettre d'accord au plus tôt sur un programme d'essais et de conditions de réception.

PIEDBEUF.

NOTES DE M. M. RÉMY

Comme promis lors du dernier Congrès de Liège nous indiquons ci-dessous les résultats obtenus jusqu'à ce jour en appliquant à notre fabrication les méthodes de contrôle indiquées à ce Congrès.

Nos efforts ont porté spécialement sur les classes éprouvettes de 5 à 10 mm. et nous donnons ci-dessous photographies de quelques pliages réalisés.

Nous présenterons les échantillons d'éprouvettes au Congrès.

POROSITÉS « NOIRS »

M. LÉONARD a prouvé, au Congrès de Liège, que presque dans tous les métaux coulés on trouvait, dans certaines conditions, des pourritures ou lisérés noirs. En malléable on dénomme généralement ce défaut un noir.

Ce défaut est très grave dans toutes les pièces à parachever ou devant résister à une pression ou un effort un peu important (liquide ou gaz sous pression (fuite).

Il serait donc de la plus grande utilité qu'une étude systématique fût entreprise sur cette question par nos Associations techniques, section malléable et autres.

Nous essayons ici de donner quelques indications pour la mise en route de cette étude.

Lors d'un entretien avec M. Touceda, l'éminent ingénieur-conseil américain, j'ai vu une pièce d'expérience sur cette question de la forme du croquis ci-joint, qui a été exécutée dans beaucoup de fonderies américaines.

M. Touceda m'a indiqué que, dans tous les noirs examinés, il avait trouvé de la « cémentite libre », bien que tout le carboné du reste de la pièce fût précipité.

Dans sa communication au Congrès de Birmingham, chapitre « Skrink Troubles », il confirme

cette constatation et il indique comme remède de larges jets ou masselottes et régularisation des épaisseurs des pièces.

La coquille est également employée en Amérique pour remédier à ce défaut.

M. Schwartz, dans une discussion d'une de ses communications, déclare que, à son avis, pour remédier aux noirs (Skrink), il ne faut pas modifier le métal, mais bien améliorer les procédés de moulage

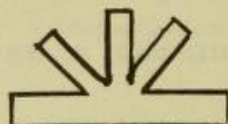


Fig. 1.
Pièce d'expérience de M. Touceda.

par l'emploi de « feeders » gros jets, masselottes, nourrisseurs appropriés.

M. Léonard attribue la formation de ces noirs à un effet des gaz du moule (voir communication du Congrès de Liège). Il semble que, à certains endroits des moules (spécialement aux parties coincées), il se produit des explosions qui font pénétrer dans le métal, non encore complètement solidifié, des gaz qui diffusent et produisent ces noirs.

On retrouverait presque toujours une communication de ces noirs avec l'extérieur. J'ai indiqué au Congrès de Liège que ces noirs se formaient également dans les pièces plates et régulières (expérience du cercle).

La raison n'est pas connue ; mais on peut cependant supposer que l'eau de combinaison de l'argile, libérée vers 500°, pourrait produire ces explosions par suite de sa vaporisation instantanée.

M. Kluytmans, lui (voir *Fonderie Moderne* de janvier 1922, page 10) attribue ces noirs ou fissures à des amas ou dépôts de perlite aux changements de sections, amas influencés par la direction de la coulée.

Enfin, M. Touceda indique que la température de coulée du métal peut être déterminée par l'aspect de ces noirs (communication au Congrès de Birmingham, page 48).

Le noir indiquerait une coulée très chaude, le gris très sombre une coulée chaude et le gris-clair, froide.

Nous nous trouvons donc devant des opinions, en apparence bien contradictoires, qu'il faudrait confronter et comparer par des expériences sérieuses

faites en grande quantité dans diverses fonderies, centraliser ces expériences et échantillons et les comparer.

INFLUENCE DU SILICIUM ET DU MANGANÈSE SUR LA RÉSISTANCE A LA TRACTION DE LA MALLÉABLE.

Certains résultats extraordinaires de résistances à la traction d'éprouvettes de « malléable à cœur noir », 50 kilos mm² et 25 0/0 allongement, dépassent les résistances et allongements des meilleurs fers connus.

Au premier examen ces résultats paraissent incompréhensibles ; on comprend mal que la malléable puisse avoir une plus grande résistance que le fer. C'est en somme du fer, dont les grains de ferrite sont séparés par des dépôts de graphite ou de carbone.

M. Schwartz, consulté, pense que la résistance à la traction du fer pur est mal connue, que les expériences sont très anciennes et demanderaient à être reproduites avec les appareils de mesure précis que l'on possède actuellement.

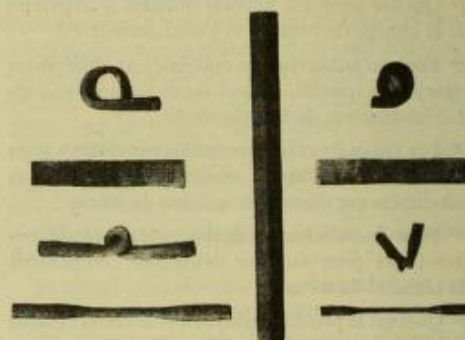


Fig. 2.
Pièces d'essais et résultats obtenus par pliage.

Sans rien affirmer il estime que le manganèse pourrait avoir une influence marquée à ce point de vue et que la solidification pendant le refroidissement des différents composants de la malléable est à surveiller.

M. Touceda est nettement pour l'influence du silicium qui serait en solution solide dans la ferrite et pourrait donner « silica-ferrite matrix » qui, considérée seule, est résistante et ductile et d'un travail à la machine très facile (splendid machinability).

C'est dans ce but qu'il recommande une teneur en silicium voisine de 10/0, lorsque c'est possible.

Voilà encore un point excessivement intéressant à éclaircir.

MODULE D'ÉLASTICITÉ DE LA « MALLÉABLE » (1).

Dans la *Revue de Métallurgie* de mai 1922, M. de Fleury écrit que le module d'élasticité de la malléable est de peu supérieur à la moitié de celui de l'acier (page 300).

Page 302. Module probablement équivalent à ceux des fontes aciérées (M. Portevin).

M. Schwartz, dans son étude si fouillée de la malléable, a indiqué une expérience qui a donné pour la malléable un module d'élasticité de 22.500. Il estime modestement cette valeur trop élevée en tenant compte des résultats des essais de traction et de compression, et il suppose que l'épaisseur de l'éprouvette n'était pas assez régulière (1/2").

Son avis est que 20.300 comme maximum et 17.500 comme minimum pourraient être admis.

Il serait évidemment très intéressant de reprendre ces expériences.

Il résulte de ces chiffres que le chapitre II de l'étude de M. de Fleury sur les emplois comparés des aciers coulés et des fontes malléables demanderait à être revu; et que l'esthétique constructive et l'empirisme européens n'auraient guère besoin

d'être modifiés pour s'adapter à la malléable à cœur noir.

AVANTAGES DE LA MALLÉABLE A FAIRE CONNAITRE AUX TECHNICIENS

1° *Pièces minces faciles à travailler ;*

2° *Pièces d'un bel aspect ;*

3° La résistance aux vibrations ou chocs répétés est une des grandes propriétés de la malléable, Elle a été mise en évidence par M. Schwartz et M. Touceda; il serait très utile que ces expériences franco-belges fissent connaître ce grand avantage de la malléable comparativement aux autres métaux, et particulièrement à l'acier.

4° *Rapidité du parachèvement.* — A résistance égale la malléable se travaille beaucoup plus rapidement que l'acier, par suite de la lubrification de l'outil par le graphite intercalé entre les grains de ferrite.

M. Touceda donne comme exemple un travail de tournage. Copeaux 3 mm. 20 d'épaisseur à 45 mètres à la minute pour dégrossissage et 75 mètres par minute pour de légères passes de finissage.

Nous taraudons régulièrement à la vitesse de 16 mètres par minute des pièces de malléable, par 11 filets Withworth par pouce et nous prévoyons augmenter cette vitesse de beaucoup.

M. Schwartz dans ses merveilleux laboratoires de Cleveland dirige avec sa compétence habituelle une série de recherches sur le travail de finissage de la malléable dont les premiers résultats ont été publiés dernièrement.

(1) Voir résumé *Revue de Métallurgie*, avril 1922 (p. 200) et *Fonderie Moderne*, août 1922.

LA PRATIQUE

DES

PETITS CONVERTISSEURS A SOUFFLAGE LATÉRAL

par M. LEVOZ

Les petits convertisseurs à soufflage latéral ont été vivement attaqués dès leur apparition par les partisans des anciennes méthodes d'affinage; ils le sont encore aujourd'hui par certains qui prétendent avoir trouvé mieux pour alimenter en métal les fonderies d'aciers moulés.

Nous nous souvenons que, lors de la mise en marche du petit convertisseur dit « Robert », aux Acieries d'Angleur, en mars 1888, nous étions en-

touré de praticiens du Bessemer qui dénommaient l'appareil comme le « grand producteur d'oxydes de fer », et le petit convertisseur y aurait été condamné, si le nôtre n'était intervenu, en 1894, pour changer les idées.

La différence était, en effet, sensible entre les deux systèmes, cependant créés par nous; mais nous avons réunis dans le second toutes les améliorations aux défauts du premier.

C'est ainsi que le prix du revêtement réfractaire du nôtre n'intervenait dans le prix de revient que pour 0 fr. 78 par tonne d'acier produite ; le Bessemer ordinaire marchant à côté accusait 0 fr. 72 par tonne pour son revêtement, tandis que le convertisseur Robert arrivait à 2 fr. 83 par tonne ; on comprit que l'appareil bien conçu n'était pas le producteur d'oxydes de fer par excellence, car s'il en avait été ainsi, le revêtement silicieux n'aurait pas résisté autant que celui d'un convertisseur à soufflage par le fond.

On décida même, alors, de transformer une cornue de 5 tonnes à soufflage par le fond en une cornue à soufflage latéral avec notre disposition des tuyères. Les résultats ont pleinement confirmé ceux obtenus à la petite cornue de 1 tonne.

Les premières coulées ont produit des lingots pour bandages de l'Etat belge beaucoup plus résistants au choc que ceux produits par le Bessemer ordinaire.

On a traité le même mélange de fonte que dans la cornue voisine à soufflage par le fond ; comme dans celle-ci, la fonte était introduite directement liquide du cubilot par un chenal pivotant ; les charges étaient de 5 tonnes (moitié fonte Ougrée et moitié fontes anglaises).

Le carnet de coulées constatait : la bonne marche de l'opération ; l'acier obtenu très chaud en 12 minutes de soufflage.

Les charges successives ont révélé :

Numéros des charges	C	Mn	R en kilog. par mm ²	A mesuré sur 100 mm.
1	0,325	0,70	67	18 %
2	0,358	0,60	62	16 %
3	0,350	0,70	70	15 %
4	0,380	0,65	73	15 %

On a pu ajouter par la suite 20 0/0 de ferraille au mélange de fonte, alors qu'au Bessemer ordinaire le même mélange ne permettait d'en passer que 10 0/0.

Sous les chocs d'un mouton de 600 kilos tombant de 2 à 3 mètres de hauteur, ils se sont repliés sur eux-mêmes (voir fig. 1) sans la moindre criqûre ni gerçure.

Pour produire ces lingots, les consommations étaient de 78 0/0 de fontes hématites, plus 20 0/0 de ferrailles, plus 2 0/0 additions; la mise au mille était de 1.150 kilos contre 1.125 kilos au Bessemer

ordinaire ; la consommation de coke par tonne d'acier était de 300 kilos, cubilot et convertisseur compris ; le mélange introduit coûtant 64 fr. 78 la tonne, le coke 15 fr. 60, le lingot revenait à 82 fr. les 1.000 kilos.

La fabrication des moulages en acier donnait les résultats ci-après :

Pièces coulées bonnes	60 0/0
Déchets de fonderie et rebuts . .	11 0/0
Jets et masselottes	15 —
Lingots restant de coulée	1 —
Déchet convertisseur et cubilot .	13 —
	<hr/> 100 0/0

Le poids unitaire des pièces coulées était de 12 kilos. Le rapport du chef de service des aciéries d'Angleur disait entre autres :

« Le convertisseur Levoz a remplacé le convertisseur Robert du même tonnage (800 à 1.700 kilos) existant à la fonderie d'acier. Cet appareil se comporte d'une manière remarquable ; pour la même charge, l'opération dure de 6 à 7 minutes au lieu de 12 à 13 dans le Robert, donne un métal très chaud et très fluide au point qu'on a pu y faire trois coulées successives pour couler des bâtis de dynamos de 3 à 4.000 kilos ; l'acier convient particulièrement bien pour ces derniers. Pour le même mélange qu'au Bessemer ordinaire, on obtient un métal beaucoup plus résistant, plus compact et plus homogène. L'usure constatée au revêtement était insignifiante ; il peut marcher des semaines entières sans autres réparations que d'avoir à recharger après chaque journée les tuyères au moyen de terre plastique.

En ce qui concerne les qualités du métal que l'on obtenait alors, voici des résultats qui édifieront les plus difficiles :

	C	Mn	Si	P	S
Acier extra extra-doux n° 1	0,086	0,30	0,05	0,05	0,04
Acier extra-doux n° 2	0,125	0,35	0,105	0,06	0,05
Acier doux n° 3	0,260	0,77	0,112	0,05	0,06
Acier demi-dur n° 4	0,370	0,98	0,118	0,06	0,05
Acier dur n° 5	0,410	1,25	0,120	0,06	0,05
Acier demi-doux n° 6	0,310	0,50	0,115	0,05	0,05
Acier demi-dur n° 7	0,445	0,63	0,125	0,05	0,05
Acier dur n° 8	0,510	0,78	0,130	0,06	0,05

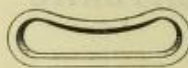


Fig. 1.

Essais mécaniques.

	Limite d'élasticité en kilog. par mm ² .	Résistance en kilog. par mm ² .	Allongement %
Acier .. n° 1	28,55	35	34
— .. n° 2	29,05	43	30
— .. n° 3	32,45	52	25
— .. n° 4	40,90	64	20
— .. n° 5	53,50	87	16
— .. n° 6	31,35	50	25
— .. n° 7	42,22	79	14
— .. n° 8	50	88	11

Essais effectués sur des éprouvettes de 13,8 mm. de diamètre et 100 mm. de longueur utile.

Nous avons souvent entendu dire qu'il était impossible de produire des aciers durs au petit convertisseur ; cependant c'est l'appareil le plus pratique pour la recarburation, parce que c'est celui qui produit le métal initial le plus fluide et le plus chaud, donc favorable à l'absorption du carbone sous quelque forme que ce soit, sans formation de carbone graphitique ; il est bien évident que le métal initial doit être purgé le mieux possible des oxydes de fer qui contrarieraient l'alliage fer-carbone en produisant des soufflures.

Nous avons vu par les résultats à la traction que le métal était aussi très ductile.

Nous croyons utile de signaler des résultats de recarburation au graphite de cornues à gaz ; on se proposait d'obtenir un acier à 1 0/0 de carbone en partant du métal initial n° 2, cité plus haut ; voici les résultats d'analyses faites sur les chutes de barres carrées de 20 à 25 mm., après classement à vue de la texture :

	C	Si	Mn
A.....	0.95	0.058	0.42
B.....	1.00	0.078	0.29
C.....	0.10	0.128	0.66
D.....	1.02	0.139	0.43
E.....	1.04	0.093	0.41
F.....	1.01	0.081	0.21
G.....	1.08	0.060	0.20
H.....	1.03	0.098	0.36
I.....	1.12	0.097	0.28
L.....	1.08	0.088	0.45
M.....	0.90	0.116	0.31
N.....	0.97	0.105	0.44

Voici un acier qui a été reconnu très bon pour burins d'ébarbage des pièces en acier coulé et pour tranches à froid *simplement coulées*.

C=0,61 ; Si=0,123 ; Mn=0,27 ; S=0,009 ;

P=0,008. Les résultats démontrent que le métal acier dur peut être obtenu aussi facilement et régulièrement que dans les autres appareils ; tout dépend de la conduite de la conversion, comme nous le verrons par la suite.

Pour l'édification de nos auditeurs sur ce que nous allons exposer par la suite, il convient de rappeler que, jusqu'en 1888, nous étions seul à connaître les manipulations du petit convertisseur, et c'est ce qui explique les beaux résultats obtenus après une pratique de trois années (1885 à 1888).

Nous avons opéré contradictoirement avec un des premiers opérateurs d'une autre méthode et voici ce que nous avons constaté : l'opération a fonctionné pendant la première journée avec un convertisseur dont le revêtement était complètement renouvelé, parfaitement séché lentement, et porté au blanc avant d'y introduire la fonte liquide.

Celle-ci, fondue très chaude dans un cubilot, avait de 2 à 2,5 0/0 silicium, 0,60 à 0,70 0/0 de manganèse et 3,25 0/0 de carbone total. La composition du mélange était : 60 0/0 de fonte, plus 40 0/0 de ferrailles. L'opérateur a soufflé à la surface du bain pendant toute la durée de la conversion ; il a obtenu les aciers de composition ci-après :

N° des charges	Additions :			Analyses des aciers	
	SiSp	FeMn 65 0/0	FeMn 45 0/0	C	Mn
2	10	10	10	0.20	0.61
4	10	10	10	0.18	0.53
6	10	10	10	0.19	0.90
8	10	10	10	0.21	0.62
10	10	10	10	0.19	0.82
12	25	15		0.45	0.74
13	25	15		0.63	0.69

Le métal obtenu était très chaud, très fluide, avec laitiers surnageant très fluides ; des parcelles étaient entraînées avec le métal ; lorsque l'on a additionné le graphite, pour recarburer aux deux dernières coulées, les réactions étaient très violentes, ce qui annonçait la présence d'oxydes de fer non réduits par les additions préalables de silicium et de manganèse.

Des étincelles nombreuses et abondantes entouraient constamment les flammes sortant par le bec de la cornue ; le déchet moyen, cubilot et convertisseur, a été de 20 0/0.

Les tuyères réfractaires, qui avaient 400 mm. de longueur en débutant le matin, n'avaient plus que 180 mm. après 13 coulées.

Nous les avons réparées à chaud en les reconstruisant avec un mortier dur très réfractaire ; elles ont séché toute la nuit, et on les a recuites le matin.

Nous avons opéré ensuite dans les mêmes conditions de mise en marche que la veille avec les mêmes mélanges de fontes et ferrailles et mêmes additions ; seulement nous avons soufflé l'air à la surface du bain au début de la conversion ; au fur et à mesure que la flamme jaunissait après la succession d'étincelles produites par la combustion du silicium, nous avons chargé, très légèrement et progressivement, les tuyères jusqu'à ce que la cornue soit dans sa position verticale, la charge de fonte étant calculée pour ce faire ; nous avons terminé la conversion avec une hauteur de bain de 5 à 6 centimètres au-dessus des tuyères.

Dans ces conditions, les flammes sortant par le bec de la cornue étaient bien nettes, sans entraînements continus d'étincelles ; on aurait dit une cornue Bessemer qui soufflait.

Le métal obtenu était très chaud et fluide, fluidité qui se maintenait plus longtemps au contact de l'air que dans le cas précédent.

Nous avons également fait des additions de carbone graphitique, nous n'avons pas eu les réactions violentes du cas précédent ; ces deux phénomènes annonçaient moins d'oxydes de fer ambiants.

Les laitiers étaient très compacts, au point de ne pouvoir les sortir du convertisseur ; naturellement on ne voyait pas de scories entraînées avec le métal. Les tuyères réfractaires, qui avaient encore 320 mm. après avoir subi 12 conversions. Il est à remarquer ici que nous travaillions dans de plus mauvaises conditions que la veille, car les réparations des tuyères à chaud tiennent moins bien que lorsqu'elles sont faites à froid.

Voici la composition des aciers que nous avons obtenus :

Nos des charges	Additions :			Analyses des aciers	
	SiSp	FeMn 65 o/o	FeMn 45 o/o	C	Mn
2	10	10	10	0.21	1.80
4	10	10	10	0.22	1.27
6	10	10	10	0.25	1.10
8	10	10	10	0.24	1.13
9	12	10	10	0.24	1.21
11	12	10	10	0.35	1.12

Nous avons fait les mêmes additions, avec l'intention de démontrer catégoriquement la différence de méthodes de conversion ; il ne faudrait

pas dépasser 0,70 o/o comme teneur en manganèse.

Cette teneur forcée en manganèse indique qu'il y a eu moins d'oxydes de fer à réduire dans le deuxième cas que dans le premier ; le déchet de conversion, cubilot et convertisseur compris, a été de 13 o/o. On a pu remarquer que les pièces coulées avec le métal du deuxième cas, plutôt plus chaud que celui du premier cas, se dépouillaient mieux de leur sable ; le recuit se pratiquait à température plus basse, et l'usinage produisait des « crolles » et copeaux longs, tandis que les aciers du premier cas produisaient des arrachements semblables à ceux que l'on obtient par l'usinage des fontes tendres et douces, ce qui fait dire à beaucoup de constructeurs que les aciers du deuxième cas sont plus durs à usiner que ceux du premier cas.

Il est bien évident que les soufflures et criques sont plus à craindre dans le premier cas que dans le deuxième cas.

On a constaté au laboratoire que la limaille du premier cas se dissolvait plus difficilement dans l'acide nitrique de densité 1,2 ; on observait des parcelles ou grains bruns noirs, qui restaient insolubles dans la dissolution ; dans le deuxième cas, on n'a observé rien de pareil, la dissolution était nette.

Nous avons observé par la suite que, plus le métal est suroxydé, plus les parcelles ou grains bruns noirs augmentent en nombre.

M. H. D. Hibbard, qui a traité la question en 1911 (la découverte dont nous parlons a été faite par nous en 1890-91), conclut que ces grains noirs sont formés par $Fe^3 O^4$ et permettent de juger du degré d'oxydation.

Nous verrons par la suite, lors de la démonstration de la marche des conversions, qu'il était dans le vrai ; il a dénommé « sonims » ces impuretés, et il ajoute que leur effet dans l'acier n'est pas en relation directe avec leur proportion, et dépend surtout de la forme qu'elles prennent dans le métal. Dans le cas qui nous occupe, les impuretés se trouvent en globules relativement assez gros dans le deuxième cas, ce qui provoque une retassure nette et importante dans les masselottes, comme dans les parties épaisses faisant suite, dans les pièces, à des parties minces ; ces défauts sont très faciles à combattre par des moyens mécaniques. Tandis que dans le premier cas, ces impuretés sont en globules extrêmement petits que le microscope ne peut même déceler, et sont très nuisibles.

Au lieu de se masser dans une retassure nette-

ment déterminée, ces globules se rassemblent le long des surfaces de contact des petits grains formés dans la solidification de l'acier, et diminuent la résistance ; elles déterminent aussi des soufflures.

Nous avons encore remarqué, il y a un an, des entretoises de grues fournies en acier coulé par une fonderie qui marche cependant depuis 1897 par la méthode du premier cas ; elles étaient criblées de soufflures, découvertes à la surface par l'usinage ; il est bien évident qu'en présence de tels résultats après 24 ans de marche, on peut condamner les petits convertisseurs et annoncer leur mort.

Nous avons eu en main, en 1912-13, ces convertisseurs avec prétendu soufflage continu à la surface du bain. Voici les résultats que nous avons constatés :

Charge de fonte : 700 kilos.
Additions finales : 12 kilos ferro-manganèse à 80 o/o et 4 kilos ferro-silicium à 25 o/o.

Analyses du métal obtenu :

Coulée n°	C	Si	Mn
27	0.11	0.128	0.74
28	0.12	0.140	0.73
29	0.11	0.094	0.54
30	0.12	0.099	0.85
31	0.13	0.180	0.57
32	0.13	0.180	0.73

Perte moyenne en manganèse : 0 k. 90.
Projections par coulée : 100 kilos.
Déchet moyen de conversion : 21 o/o cubilot et convertisseur.

Nous avons opéré ensuite dans le même convertisseur en employant les mêmes fontes, mais selon ma méthode. Voici les résultats :

Charge de fonte : 700 kilos. Additions : 8 kilos ferro-manganèse à 80 o/o ; 6 kilos ferro-silicium à 25 o/o.

Coulée n°	C	Si	Mn
206	0.140	0.258	0.60
207	0.120	0.242	0.63
208	0.130	0.175	0.61

Perte moyenne en manganèse : 0,40.
Projections : 30 kilos par coulée.
Déchet de conversion : 16 o/o.

Nous avons ensuite modifié l'appareil, en supprimant la partie plane au niveau des tuyères pour rendre le creuset complètement cylindrique, et nous avons fait opérer l'opérateur que nous

étions chargé de mettre au courant. Voici ce qu'il a donné :

Charge de fonte : 650 kilos.
Additions finales : 110 kilos ferro-manganèse à 80 o/o et 6 kilos ferro-silicium à 25 o/o.

Coulée n°	C	Si	Mn
284	0.170	0.164	0.68
215	0.210	0.250	0.66
217	0.140	0.206	0.65

Perte moyenne en manganèse : 0,713.
Projections : 45 kilos par coulée.
Déchet de conversion : 18 o/o.

Nous avons omis de signaler que, dans cette installation l'air sous pression était fourni par un ventilateur à haute pression genre Root ; tandis que dans les premier et deuxième cas, l'air sous pression était fourni par une machine soufflante à piston, avec soupapes d'aspiration et de refoulement métalliques.

Nous avons cru bien faire de rappeler ces expériences, afin d'édifier nos auditeurs sur les différentes méthodes d'insufflation d'air dans le bain ou sur le bain contenu dans le creuset du petit convertisseur, et aussi pour mieux faire comprendre la pratique du petit convertisseur telle qu'elle doit être pour obtenir un métal irréprochable capable de concurrencer celui produit dans les autres appareils métallurgiques.

Nous avons indiqué au début de ce mémoire que nous avons commencé par employer des mélanges de fontes hématites seules ; ensuite nous avons pu, d'après la pratique des appareils et des opérations, convertir les mélanges de fontes avec 20 o/o de ferrailles ; nous sommes passé ensuite à 60 o/o de fontes et 40 o/o de ferrailles, puis à 50 o/o de fontes et 50 o/o de ferrailles.

Pendant la guerre, le manque de fonte nous a fait employer 60 o/o de ferrailles, puis 70 o/o ; enfin nous avons supprimé la fonte, et l'avons remplacée par le ferro-silicium 10 à 12 o/o et 25 o/o auquel nous avons ajouté 80 à 85 o/o de ferrailles pour fabriquer la fonte synthétique au cubilot dès 1916 ; nous avons même employé les tournures de fontes et aciers formées en briquettes agglomérées avec le brai et composées avec du poussier de coke et des fondants énergiques.

Tout dernièrement, nous avons coulé des pièces en fer et en acier directement à partir du minerai de fer.

Nous n'insisterons pas sur la fusion de matières à convertir ; nous indiquerons simplement que les

industriels qui font de la fonderie d'acier au convertisseur n'insistent pas assez sur le choix du cubilot; c'est cependant la clef de la fabrication, car c'est de lui que dépend toute la marche de la conversion. Plus le cubilot sera à hauteur de sa fonction, plus les opérations du convertisseur seront faciles à conduire; d'où obtention d'un métal régulier, sain et homogène.

En général, on ne fait pas assez attention à l'allure oxydante du cubilot et nous avons pu remarquer, en nous promenant aux alentours d'une fonderie d'acier les fumées abondantes rousses sortant du cubilot, qui se confondaient avec celles sortant du convertisseur.

C'était pitoyable à voir, et cependant le personnel dirigeant avait fonctionné selon mes indications un an auparavant. Il y avait là négligence évidemment, mais négligence qui se traduisait par des déchets énormes de conversion, et obtention d'un métal impropre à la production de belles et bonnes pièces en acier coulé. Cette usine avait cependant donné des résultats magnifiques sous tous les rapports, techniques et financiers, et si je rappelle incidemment ces faits, c'est pour faire ressortir comme il convient, la nécessité de se conformer aux règles que je viens d'indiquer.

En ma qualité de créateur du procédé, j'ai bien le droit de me plaindre de voir ainsi gâcher le métier, et souhaite que l'A. T. F. puisse intervenir pour sauver avec moi une fabrication qui tendrait à disparaître faute de soins.

La fonte obtenue bien chaude, la plus chaude possible au cubilot, sans oxydation ni suroxydation, et par conséquent sans être dénaturée, est introduite dans le convertisseur à l'état liquide.

Nous l'avons d'abord introduite directement du cubilot par un chenal pivotant, le convertisseur étant placé dans la position horizontale. Ensuite nous l'avons introduite, toujours au moyen d'un chenal mobile, le convertisseur étant dans la position verticale, ou incliné dans le sens opposé aux tuyères, par le bec de la cornue ou une ouverture ménagée un peu au-dessus des tuyères.

Nous avons reconnu que ces modes d'introduction nous donnaient des coulées irrégulières, parce que nous ne connaissions jamais la quantité de fonte introduite, même en employant les cubilots avec avant-creuset.

Nous avons alors pensé à prendre la fonte dans une poche dosée, que l'on suspendait à une grue ou à un pont-roulant, pour la verser dans le convertisseur par le bec.

Nous avons ensuite reconnu qu'il était beau-

coup plus pratique de surélever les cubilots de façon à couler la fonte dans une poche intermédiaire, placée sur un chariot qui desservait les deux convertisseurs situés en face l'un de l'autre ou sur la même ligne.

Nous avons vu que la fonte devait être introduite très chaude dans le convertisseur. Nous conseillons de ne pas dépasser la teneur de 1,5 0/0 en silicium, 0,70 en manganèse, 3 0/0 de carbone total; les fontes plus riches entraînant un déchet de conversion plus important, sans donner plus de fluidité au métal, ni une qualité meilleure.

Un de mes contremaitres, qui avait longtemps travaillé par la méthode du soufflage à la surface, me disait en 1917 que le métal produit au moyen des fontes synthétiques (à 1,3 0/0 de Si et presque pas de manganèse) était de qualité inférieure, et il attribuait les piètres résultats d'essais de traction à la composition de la fonte synthétique telle que nous la produisons au cubilot; nous avons vu qu'il voulait se décharger sur un phénomène dont il n'avait pu apprécier les qualités et nous lui avons fabriqué le métal ci-après:

C=0,10; Mn=0,80; Si=0,60; P=0,04; S=0,075

Essais à la traction:

R = 45,5 K—allong. = 32 0/0

R = 46 K—allong. = 28 0/0

R = 46 K—allong. = 27 0/0

(Epreuves de 13,8 mm. de diamètre et 100 mm de longueur utile.)

Essais au choc: Mouton de 50 kilos, 7 coups dressé et redressé à 3 mètres sans casser. Mouton de 18 kilos, 13 coups dressé et redressé à 3 mètres sans casser.

Mon contremaitre a été complètement édifié.

Le poids unitaire moyen des pièces coulées avec ce métal était de 4 kilos 685. La production mensuelle était de 149.2161 kilos en pièces bonnes, soit un rendement de 62,57 0/0 par rapport au métal brut; le poids des jets, masselottes, rebuts et déchets d'ébarbage était de 65.906 kilos, et le déchet de fusion, conversion et autres: 23.463 kilos.

Cette diversion, pour indiquer qu'il est très facile de se faire des idées fausses dans la fabrication qui nous occupe. Mais revenons au convertisseur.

Si nous partons de la fonte bien chaude à teneur indiquée, le niveau du bain devra atteindre la position indiquée par le croquis n° 1, et ce, dans n'importe quelle disposition de cornue. Dès que nous avons eu découvert le mode de soufflage de 1885, nous avons insufflé l'air par des tuyères de 30 à 32 mm, comme diamètre des trous débi-

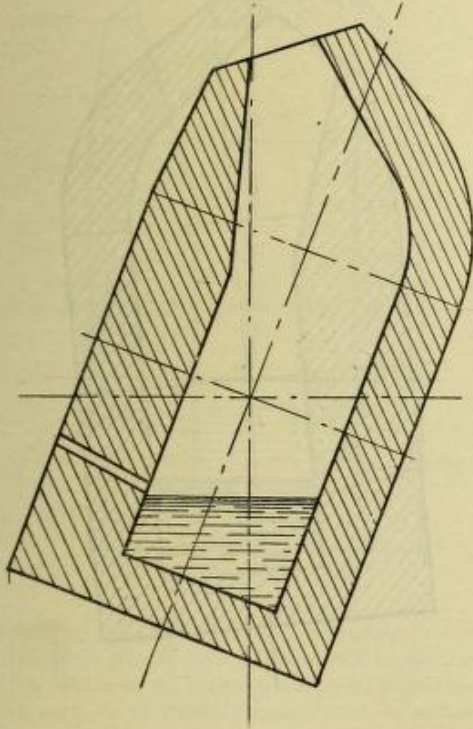
teurs du vent ; la pression était de 15 à 18 cm. de mercure ; nous avons monté à 20 et 25 cm. par la suite. Lorsque nous avons pu disposer d'une bonne machine soufflante à piston avec soupapes métalliques d'aspiration et de refoulement, nous avons adopté les tuyères de 27 mm. de trous avec pression d'air de 30 à 35 cm. de mercure ; nous

sant plus d'une atmosphère de pression, avec 8 tuyères de 30 mm. de trous ; c'est ce qui explique la rapidité du soufflage.

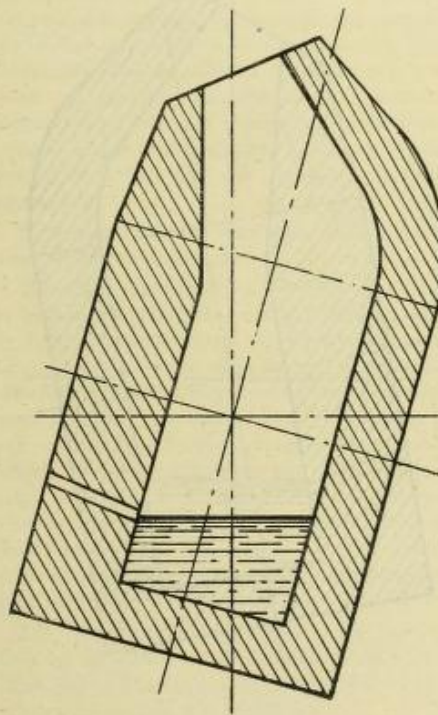
Les tuyères de 25 mm. de trous avec la pression de 30 à 35 cm. de mercure sont d'un bon emploi pour la régularité du métal.

La conversion doit toujours débiter par une

Croquis N° 1



Croquis N° 2



sommes descendu à 25 mm. de trous avec pression de 40 à 45 cm. de mercure, et ensuite à 22 mm. de trous avec la pression de 45 à 50 cm. de mercure.

Il s'agissait ici d'un convertisseur de 1.000 à 1.500 kilos de capacité, muni de 5 tuyères ; nous avons opéré avec 4 tuyères de 27 cm. et 60 cm. de mercure dans une usine de la Haute-Marne, en 1911, et avons obtenu du métal de régularité parfaite.

Les coulées signalées au début de ce mémoire ont été soufflées par une machine Bessemer, produi-

suite d'étincelles sortant par le bec de la cornue ; dès que la flamme rouge apparaît, on incline l'appareil de façon à augmenter de 1 à 2 centimètres le niveau du bain par rapport aux tuyères (voir croquis n° 2) et lorsque la flamme blanchit et que le bruit intérieur se manifeste, il faut couvrir les trous débiteurs d'air (voir croquis n° 3).

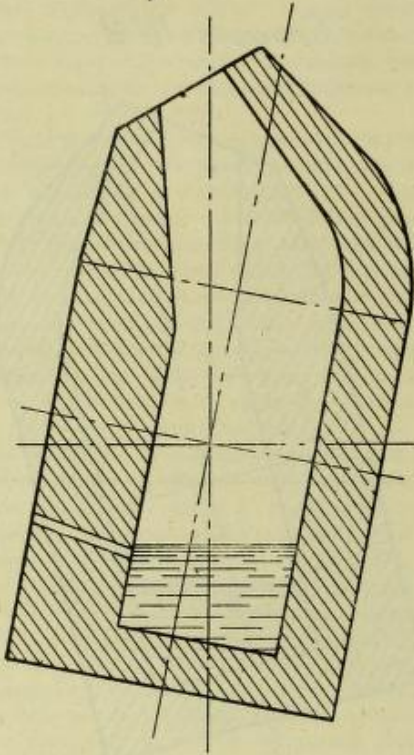
C'est la fin de la désilisation et le commencement de la décarburation ; lorsque celle-ci se prononce, il faut augmenter la hauteur du niveau du bain de 2 à 3 cm. au-dessus des tuyères (voir croquis

n° 4), puis arriver à 6 cm. avant la première montée de flamme C.

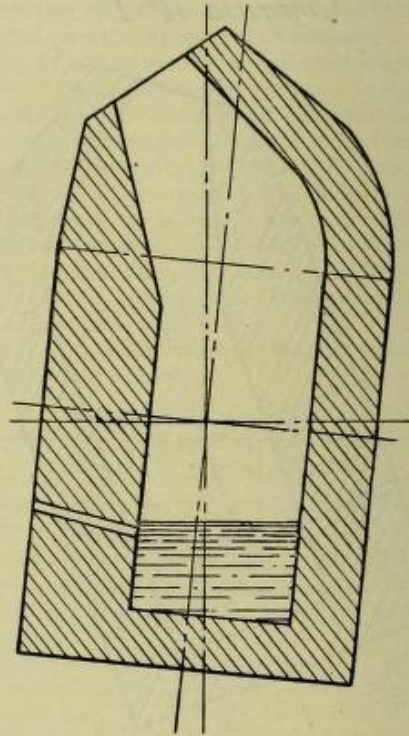
Ces précautions assurent la décarburation normale de la première tranche de bain, que nous estimons occuper 15 centimètres de hauteur en face

Par suite de ces réactions, la partie non décarburee surnage, la flamme s'abaisse, et la conversion semble recommencer ; il est nécessaire que les fumées jaunes brunes persistent pendant cette période, et que la flamme conserve sa qualité de

Croquis N° 3



Croquis N° 4



des tuyères, le convertisseur étant dans la position verticale (voir croquis n° 5).

Dans ces conditions, la première phase de la décarburation se manifeste par une flamme bien nourrie, d'un blanc éblouissant, et entouré d'épaisses fumées jaunes brunes qui sont la caractéristique de la combustion du fer sous forme de Fe^2O^3 .

Les réactions du carbone de la partie inférieure du bain avec les oxydes de fer de la partie supérieure sont peu violentes ; la flamme s'allonge subitement sans les moindres projections de métal et scories.

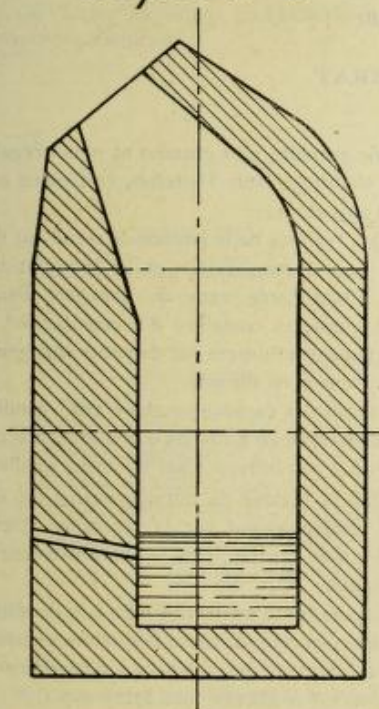
bien nourrie, avec l'intensité assurant le blanc éblouissant ; le convertisseur doit rester dans la même position (celle du croquis n° 5) jusqu'à ce que se manifeste une recrudescence de l'allongement de la flamme ; à ce moment, il convient d'augmenter légèrement la hauteur du niveau du bain au-dessus des tuyères, ce qui assurera sa décarburation complète tout en maintenant sa grande fluidité.

La flamme s'allonge plus que lors de la première montée, les fumées semblent bleuir sous l'influence de l'intensité des flammes ; celle-ci diminue ; les fumées redeviennent jaunes brunes, puis la flamme

disparaît en rentrant presque complètement dans le bec ; c'est la fin de la conversion, qu'il est impossible de dépasser lorsqu'on a pris les précautions indiquées plus haut. On ramène le convertisseur

parfait de ces additions et leur bonne répartition dans le bain. Lorsque le convertisseur est horizontal, le bain doit être le moins allongé possible, et l'on remarque que le laitier est très épais et parfaitement séparé du métal ; on laisse les réactions se calmer, puis on place une brique-crématoire au bec pour assurer la coulée du métal bien net dans les poches.

Croquis N° 5



dans la position horizontale, et pendant la durée du temps d'inclinaison, on aura fait les additions des réducteurs au moyen d'une poche suspendue à la hotte de cheminée, ce qui assure un mélange

Si l'on a pris le soin d'opérer de la façon indiquée, il se forme pendant toute la durée de la conversion, du Fe^{O}_2 qui donne 2FeO dont la réduction absorbe peu de calories ; tandis que si l'on a opéré de tout autre façon, on produit par instant du Fe^{O}_3 qui donne 3FeO dont la réduction absorbe beaucoup plus de calories, et la température du bain est souvent compromise pour assurer en bonne répartition des réducteurs produisant des réactions incomplètes qui persistent dans la coulée du métal dans les lingotières ou dans les moules.

C'est là la cause des nombreux défauts attribués aux petits convertisseurs.

Il est bien évident qu'en cours de fabrication, il se présente de nombreux cas qui peuvent modifier la marche des opérations ; ils sont tellement nombreux qu'il est impossible de les examiner ici en détail, et ce serait abuser de votre temps, si précieux, pour connaître des choses d'un intérêt plus général ; qu'il suffise de savoir que les pires accidents seront toujours surmontés par la méthode pratique nous nous avons indiquée, et que l'on pourra toujours faire sortir du petit convertisseur un métal peut-être moins chaud et fluide, mais toujours employable pour couler de plus grosses pièces sans soufflures.

Les accidents se manifestent d'ailleurs dans tous les appareils métallurgiques, et ils sont toujours dus aux manques de prévoyance et de précaution, et surtout à la négligence.

LA FONDERIE DE BRONZE

AU

FOUR ÉLECTRIQUE

Communication de M. BRASSEUR

La tendance actuellement la plus marquée dans les fonderies de cuivre, de laiton et de bronze est d'augmenter surtout la puissance et le rendement thermique des appareils de fusion. L'amélioration du produit même n'a pu suivre que de loin les progrès très manifestes réalisés dans la construction des fours, à tel point que le seul raffinage consiste à absorber simplement le métal brûlé par un désoxydant solide qui l'entraîne hors du bain, occasionnant ainsi une perte de métal définitive et importante. C'est la raison qui impose l'emploi de l'antique creuset en graphite, d'un rendement thermique pourtant si déplorable, toutes les fois que l'obtention d'une qualité bien définie l'emporte sur l'économie à réaliser par l'emploi de tel autre four.

En effet, en fondant les métaux dans un creuset bien recouvert pour empêcher l'accès de l'air, on arrive facilement à conserver le dosage initial et à constituer un alliage aux proportions voulues. Avec des matières premières pures on obtient un bain final très faiblement oxydé que les désoxydants courants peuvent assainir complètement.

Il n'en est plus de même lors de la fusion dans un four à réverbère et dans le four Charlier, où le surchauffage par le contact direct de la flamme et l'excès d'air comburant produisent une oxydation inévitable. Les fours électriques à arcs qui permettent de supprimer toute circulation d'air réduisent l'inconvénient; ils agissent à la façon des creusets où le métal fondu ne renferme que les oxydes contenus déjà dans la matière chargée. Mais l'arc voltaïque peut fausser le dosage par la volatilisation de certains métaux.

D'une façon ou de l'autre, ces fours donnent un bain de composition et de qualité douteuses, dont la dernière seule peut être corrigée sommairement à l'aide d'un désoxydant.

Mais l'effet de ce raffinage, exécuté en toute hâte dans le bref intervalle de temps disponible entre le défournement et le coulage en moule, ne se constate qu'après la solidification. Or aucun traitement ultérieur ne pourra corriger un mauvais bronze.

Examinons en effet l'altération produite par une fusion trop oxydante. Tous les alliages de cuivre souffrent par suite de la grande affinité de l'oxygène pour ce métal que l'on est toujours obligé de fondre avant le chargement des autres composants.

L'oxydure de cuivre Cu_2O qui se forme dans ces conditions est retenu d'autant plus énergiquement qu'il est très soluble dans le métal fondu. Et comme il n'est reprécipité qu'au moment de la solidification de ce dernier, l'alliage final est toujours constitué par un enchevêtrement intime de cristaux métalliques (soit de cuivre pur ou d'un de ses alliages) d'une part, et d'un eutectique de cuivre et de Cu_2O d'autre part. Ce phénomène, facilement observable dans les moulages de cuivre pur se reproduit avec une intensité moins accentuée dans les laitons et dans les bronzes; mais alors la récupération d'une certaine proportion de cuivre de l'oxydure primitivement formé se fait aux dépens d'une partie équivalente de zinc ou d'étain qui, en agissant comme désoxydants, se scorifient.

Au point de vue mécanique cette interposition de cristaux d'eutectique renfermant le Cu_2O produit une diminution fort sensible de la résistance.

D'autre part, l'oxydure de cuivre favorise considérablement la dissolution de gaz dans le métal liquide, qui se libèrent au moment de la solidification avec formation de soufflures minuscules dans toute la masse. Le moulage final est donc poreux.

Pour parer à ces deux défauts on use d'un seul remède, consistant à introduire dans le bain évacué dans la poche de coulée une partie aliquote de phosphore rouge en poudre, ou mieux de phosphore métallique. Si on provoque en cet instant un brassage efficace, le phosphore se transforme en anhydride phosphorique aux dépens d'une partie équivalente d'oxydure de cuivre qui est réduit.

L'anhydride phosphorique formé se combine ensuite vers les parties restantes du Cu_2O pour former du phosphate de cuivre qui monte à la surface du bain où on peut l'écumer. L'opération se base sur des réactions chimiques bien définies que

l'on pourrait appliquer avec beaucoup de profit, s'il y avait moyen de connaître exactement la quantité du réactif à ajouter. Celui-ci en effet possède tous les défauts d'un contre-poison ; si on l'ajoute en quantité insuffisante, l'effet est incomplet, mais tout excès substitue à l'impureté « oxygène », l'impureté « phosphore » qui est non moins nuisible. Rappelons à ce sujet les remarques faites par M. Guillet sur des bronzes au phosphore. (Voir : *les Alliages métalliques*, p. 555.)

« Le phosphore n'agit pas par sa présence, mais bien par son rôle désoxydant. Le principe essentiel de la fabrication des bronzes au phosphore est de ne pas ajouter un excès de phosphore, lequel, nous le verrons, ne présente que de graves inconvénients. Il faudrait pouvoir calculer aussi exactement que possible la quantité de phosphore nécessaire pour détruite les oxydes formés pendant la fusion. Si l'on ajoute un excès de phosphore, la résistance et la malléabilité décroissent assez vite. »

L'effet est indiqué dans le tableau suivant :

TYPE	Cu.	Sn.	Zn.	Pb.	Ph.	R.	Æ.	A p. 100
Bronze non déphosphoré . .	89,9	9	1,5	0,5	0	28	14	24
Bronze phosphoreux . . .	89	9	1,5	0,5	traces	32	16	41
Bronze phosphoreux . . .	89	9	1,5	0,5	0,13	28	14	19

COMPOSITION

Un excès de 0,3 p. 100 de phosphore réduit donc la résistance à celle de l'alliage non désoxydé ; l'allongement diminue considérablement. On conçoit dès lors l'intérêt qu'il y a à remplacer un remède aussi dangereux par un traitement méthodique qui produise la désoxydation spontanée et intégrale et qui permette d'obtenir l'alliage final avec ses qualités naturelles de résistance et de ténacité.

Ce but a été réalisé par le procédé breveté de désoxydation des bronzes, élaboré aux usines de l'Arbed, à Dommeldange, et qui consiste à faire subir au métal dans le four même une épuration analogue, quoique chimiquement opposée à la décarburation du bain d'acier au four Martin (1).

Les métaux constitutifs de l'alliage, fondus dans l'ordre habituel dans un four de grande capacité, 400-500 kilogrammes, sont recouverts dès le début par un laitier alcalino-manganeux très désoxydant

qui agit immédiatement sur les oxydes métalliques de la nappe supérieure du bain. Mais à mesure que le laitier se sature d'oxygène, il subit à son tour une attaque désoxydante par des matières carbonneuses qui le surnagent. Le déséquilibre chimique, entre le bain métallique et la scorie réductrice qui se régénère, est rétabli. L'échange de matières s'opère uniquement dans le sens bain métallique laitier réducteur et aucune matière indésirable ne pourra venir souiller l'alliage fondu qui sort du four prêt au moulage.

La réaction comme telle pourrait s'exécuter dans le creuset et dans une certaine mesure même dans le four à réverbère.

Le maximum d'effet pourtant se réalise au four électrique à induction, qui offre non seulement un laboratoire hermétiquement fermé, mais dans lequel le cheminement hélicoïdal des particules du bain métallique produit un brassage du plus grand effet.

Ce cheminement est une particularité du four électrique à induction, les particules sont animées d'un double mouvement : une circulation lente dans le couloir du four et une révolution dans le plan de la section des canaux.

Les moulages obtenus à l'aide de ce procédé montrent une remarquable homogénéité. La perte par oxydation étant nulle celle par volatilisation étant insignifiante, on saura toujours la composition finale si on part de matières premières bien définies.

L'usine de Dommeldange peut accepter de la part de ses clients des débris de vieux moulages qu'elle régénère pour en faire des produits nouveaux.

Ces produits sont les suivants :

- Bronzes électriques pour coussinets ;
- Bronzes pour la construction mécanique ;
- Bronzes extra-tenaces au nickel ;
- Laitons forgeables et laitons ordinaires ;
- Moulages en cuivre pur.

Un contrôle chimique mécanique et métallographique garantit la constance des qualités spéciales de chaque nuance.

Bronzes électriques pour coussinets

« D'après les conclusions auxquelles a été conduit M. Chary, tous les bons alliages antifriction devront renfermer des grains durs enveloppés dans un eutectique doux.

« Les grains durs auront pour rôle de diminuer le frottement et la tendance au grippement ; ils ne devront pas être en proportion assez grande pour rendre le métal fragile.

(1) Brevets français n^{os} 488.689, 494.226 et 494.227.

« L'eutectique devra avoir une constitution telle qu'il joue bien en quelque sorte le rôle de matelas. » (L. Gillet, *les Alliages métalliques.*)

Le bronze au four électrique répond, grâce à son dosage précis et à la préparation très fine et homogène de ses constituants, à ces deux conditions si délicatement réalisables.

L'alliage destiné aux coussinets doit sa plasticité spéciale à l'incorporation d'une certaine quantité de plomb émulsionné uniformément à travers la masse. On réalise ainsi une surface de frottement idéale dans laquelle les corpuscules de plomb formant centres d'adhésion, retiennent l'huile de graissage très énergiquement entre les surfaces frottantes.

Bronze pour la construction mécanique

Cet alliage destiné à la confection d'organes de machines soumis à des efforts combinés, remplace l'acier dans les organes de machines exposés à une forte corrosion. La composition varie naturellement selon l'emploi envisagé.

Caractéristiques : charge de rupture, 32-26 kg/mm² ; résilience, 2,8-3,0 kg./mm².

Usages : roues dentées et vis hélicoïdales, écrous de pression, vis de serrage pour laminoirs, anneaux pour presse, plateaux et disques de friction pour accouplements.

Bronze extra-ténace au nickel-aluminium

Ce bronze présente les qualités d'un acier fin pour construction. Les qualités mécaniques se laissent régler par traitement thermique de manière à fournir toute une gamme de résistance

de 50 70 kilos par mm² avec des allongements correspondants variant de 25 à 12 0/0. La résilience correspondant au maximum de la dureté est de 5,8.

Comme l'alliage est moins dense que le fer, on pourra l'appliquer avec profit à la confection d'organes à grande vitesse de translation ; ce qui le rend particulièrement précieux, c'est la grande indifférence qu'il manifeste en face des corrosifs.

Laitons moulés forgeables et laitons ordinaires

Les laitons sont fournis dans la composition prescrite par le client et répondant aux usages multiples de la construction des arts. Le réglage facile de température au four électrique procure au bain le degré de fluidité nécessaire pour obtenir des moulages sains.

Moulages en cuivre pur

C'est dans les moulages à haute teneur en cuivre (98-999 0/0 de cuivre pur), telles les tuyères et les chapelles de hauts fourneaux qu'apparaît toute la supériorité du traitement métallurgique à l'intérieur du four. Ces pièces généralement à masse relativement petite pour le grand développement de leur surface, sont aisément compromises par le moindre dégagement de gaz pendant la solidification du métal coulé.

On peut donc espérer d'un procédé basé sur des considérations aussi rationnelles que métallurgiquement bien définies, des résultats donnant le maximum de garanties dans la fabrication des alliages de cuivre.

INFLUENCE DU PHOSPHORE SUR LES LAITONS

par M. ALBERT PORTEVIN

Maître de Conférences à l'École Centrale des Arts et Manufactures de Paris.

Ayant été questionné, il y a plusieurs années, au sujet des inconvénients pouvant résulter de la présence du phosphore dans les laitons coulés, nous avons à cette époque effectué une série d'essais afin d'être documentés à cet égard. Quoique les circonstances dans lesquelles ce renseignement puisse être utile soient tout à fait exceptionnelles et qu'il n'y ait aucun motif à ajouter du phosphore aux alliages de cuivre-zinc, pour les raisons que nous indiquerons, nous avons pensé qu'accidentellement

la même question pourrait se poser dans l'esprit de quelques fondeurs et c'est ce qui nous a incités à résumer les résultats recueillis à cette occasion. Ce sera surtout le prétexte à quelques remarques d'ordre général :

1^o) ESSAIS SUR LES LAITONS PHOSPHOREUX

On a préparé deux séries de laitons à teneurs croissantes en phosphore (1) :

(1) Ajouté sous forme de phosphure de cuivre à 10 0/0.

La première contenant en moyenne 68 o/o de cuivre (laiton initial à un seul constituant α); La deuxième contenant environ 58 o/o de cuivre (laiton initial à deux constituants α et β').

Les essais ont été effectués à la fois sur alliages coulés en coquille sous forme de barreaux ronds de 45 mm. de diamètre, et sur alliages coulés en sable.

Chaque pièce coulée a été analysée, soumise

aux essais mécaniques de traction, de dureté à la bille et de choc sur barreaux entaillés, et à l'examen micrographique. Les résultats obtenus à l'analyse chimique et aux essais mécaniques sont consignés dans le tableau 1 pour les pièces coulés en sable et dans le tableau 2 pour les barreaux coulés en coquille.

Les résultats des essais mécaniques sur alliages

TABLEAU I. — LAITONS COULÉS EN SABLE

Composition chimique pour tous les alliages Pb = 0 Sn = 0 ou traces.			Essai de traction				Essai de dureté (1) à la bille de 10 mm sous :		Essai de choc sur barreau Mesnager.	Essai de dureté Shore (3)
Cu %	Fe %	P %	R kgr ^m /m ²	E kgr ^m /m ²	A %	Σ %	1000 kgr.	500 kgr.	ρ (2) kgr ^c /m ²	
1 ^{re} série — Laitons α à 68 % cuivre environ.										
68,94	0,06	0.	10,7	4,6	20.	20,5		25	12,0	11.
69,15	0,07	0,029	12,0	6,8	25,5	21,8		29	12,0	10,25
68,79	0,06	0,077	8,8	4,7	12,0	20,5		28	10,8	11.
68,17	0,16	0,51	7,6	6,9	4,0	7,0		32	2,5	19.
67,40	0,06	0,66	12,7	0,2	7.	8,4	42		1,6	19.
66,65	0,07	1,47	13,4	10,8	2,5	0.	55		1,2	21,5
2 ^e série — Laitons $\alpha+\beta'$ à 58 % cuivre environ.										
59,01	0,10	0.	35,1	8,5	44,0	41,0	74		16.	21,75
59,29	0,15	0,020	35,3	12,8	36,0	43,2	61		11,5	21,50
58,93	0,07	0,07	34,3	13,0	33,0	39,8	60		11,3	22,50
58,65	0,22	0,48					65		3,6	21,25
57,83	0,05	0,64					73		1,3	22.
57,08	0,11	1,19	15,1	15,1	1,0	0.	83		1,1	29,75

TABLEAU II. — LAITONS COULÉS EN COQUILLE

Composition chimique (%)						Essai de traction				Essai de dureté à la bille sous 2000 kgr	Essai au choc sur barreau Mesnager.
Cu %	Pb %	Sn %	Zn %	Fe %	P %	R kgr ^m /m ²	E kgr ^m /m ²	A %	Σ %	Δ	ρ (5) kgr ^c /m ²
1 ^{re} série — Laitons α à 68 % cuivre environ.											
68,57	0,74	traces	30,53	0,13	0.					54	7,20
69,47	0,63	—	29,37	0,45	0,033	17,7	11,0	11,0	18	64	10,6
69,56	0,49	—	29,60	0,25	0,071	19,4	9,8	18,0	24	64	8,15
68,62	0,58	0,08	30,13	0,15	0,38					74	4,0
69,25	0,44	0,16	29,20	0,22	0,69	20,7	12,1	7,0	8	82	1,75
68,12	traces	0,13	30,07	0,24	1,38					95	1,55
2 ^e série — Laitons $\alpha+\beta'$ à 58 % cuivre environ.											
59,53	traces	traces	40,33	0,09	traces	39,6	14,3	39,0	39	93	7,5
61,14	—	—	38,48	0,29	0,046	36,0	13,0	40,0	39	80	11,8
60,47	—	—	39,27	0,18	0,059	35,7	14,7	26,0	33	86	10,1
58,76	—	—	40,77	0,07	0,38					121	1,25
58,16	—	0,03	40,87	traces	0,86	7,1	7,1	0.	0.	128	1,25
57,08	—	0,05	40,94	0,12	1,73					141	1,25

(1) Moyenne de 4 essais.

(2) Moyenne d'au moins deux essais : l'écart maximum entre les divers résultats n'ayant jamais dépassé 1 k. 5.

(3) Moyenne de 4 déterminations (poids moyen des échantillons : 155 gr.), marteau à pointe en acier dur trempé.

(4) Le zinc utilisé à la confection des alliages étant exempt de Bi et Sb et ne contenant que 0,015 o/o As l'analyse a décelé en outre des traces de nickel.

(5) Moyenne de quatre déterminations.

coulés peuvent être affectés de nombreuses causes d'erreurs, ainsi qu'il a été déjà dit à diverses reprises (1) de sorte qu'il ne faut pas s'attacher qu'aux variations d'ensemble des résultats sans prétendre à une grande précision.

De l'examen des résultats numériques rassemblés dans les tableaux 1 et 2, il résulte que la présence du phosphore n'affecte pas sensiblement les propriétés mécaniques, tant que la teneur en cet élément reste inférieure à 0,05 o/o ; par contre, lorsqu'elle dépasse 0,5 o/o on constate une chute considérable de la résilience et des allongements de rupture, l'alliage est devenu cassant en même temps que sa dureté se trouve accrue. Cette réduction des allongements de rupture fait que les valeurs de la charge de rupture R et de la limite élastique apparente E sont alors dépourvues de toute signification ; la discordance entre les variations de R et de dureté A le montre nettement. Cette fragilité avait été signalée déjà par M. GUILLET (2) lorsque la teneur en phosphore dépasse 0,1 o/o comme correspondant à l'apparition du constituant dont il sera parlé plus loin.

Quant aux résultats fournis par l'examen micrographique, ils peuvent se résumer comme suit :

1°) Des additions croissantes en phosphore déterminent, dans les laitons, la présence d'un constituant qui apparaît lorsque la teneur en phosphore dépasse 0,05 o/o pour les laitons α à 68 o/o Cu et 0,5 o/o pour les laitons $\alpha + \beta'$ à 58 o/o Cu. Ces teneurs sont donc des limites inférieures approximatives de solubilité à l'état solide du phosphore dans les conditions de refroidissement de ces essais. Ce constituant est peu colorable aux réactifs utilisés (solution acide de perchlore de fer et attaque oxydante à l'ébullition par la soude et l'eau oxygénée) ; c'est celui qui est visible en clair sur les photographies 1 (laiton α , attaque oxydante), 2, 3, et 4 (laiton α , attaque au perchlore de fer), 5 (laiton $\alpha + \beta'$, attaque au perchlore de fer) 6 et 7 (laiton $\alpha + \beta'$, attaque oxydante).

C'est vraisemblablement le composé défini Cu_3P : pour les teneurs assez élevées en phosphore, dans les laitons α (fig. 4, laiton à 1,5 o/o P) on retrouve l'aspect de l'eutectique $\text{Cu-Cu}_3\text{P}$ des alliages cuivre-phosphore ; dans les autres micrographies, à plus basses teneurs en phosphore, cet aspect eutectique ne s'observe pas, ce qui est un fait général pour tous les alliages très pauvres en eute-

ctique ; le phosphore se présente en filaments contournant les grains de solidification primaire

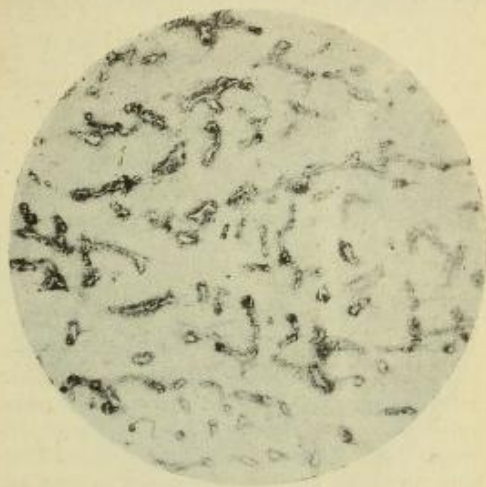


Fig. 1. — Laiton à 68 o/o Cu et 0,38 o/o P coulé en coquille ;
Solution α = hétérogène + Cu_3P]
Attaque oxydante X 200

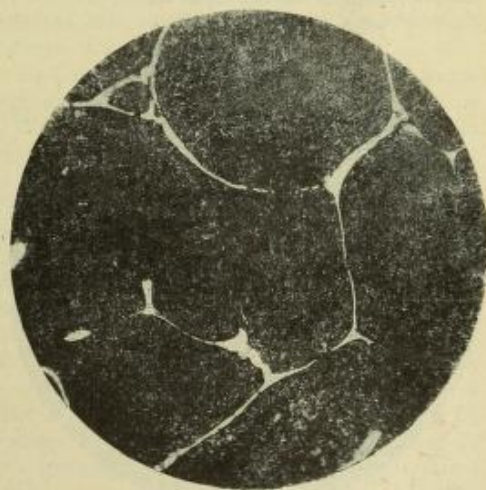


Fig. 2. — Laiton à 68,2 o/o Cu et 0,51 o/o P coulé au sable,
Solution α + Cu_3P
Attaque au perchlore de fer acide X 200]

(fig. 2, 3 et 5). Cette disposition structurale n'est pas sans intervenir d'une manière très efficace sur l'accroissement de fragilité constaté aux essais mécaniques. Dans les laitons α et β' le phosphore se trouve dans le constituant (fig. 5-6) ;

(1) A. Portevin (Rev. Mét., XII, 95, 1915). — L. Guillet et A. Portevin (Rev. Mét., XVII, 753, 1920).

(2) Recherches sur les alliages de cuivre (Rev. Mét., 11, 97, 1905).

2°) La séparation du constituant Cu^2P ne paraît pas sensiblement influencée par la rapidité du refroidissement dans les limites de ces essais.

dureté constaté entre ces deux modes de refroidissement à égalité de composition chimique.

3°) Dans les laitons $\alpha + \beta'$, l'addition de phos-

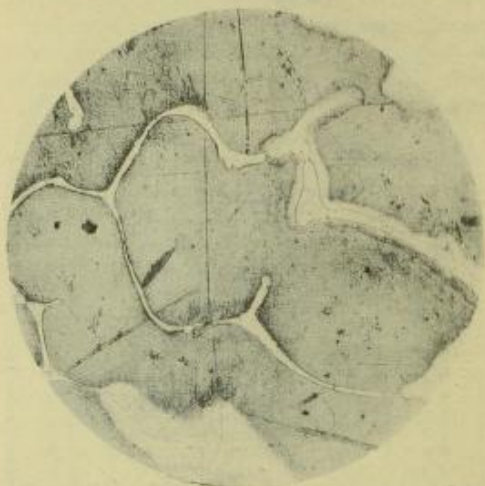


Fig. 3. — Laiton à 67,4 o/o Cu et 0,68 0/0 P coulé en sable.
Solution $\alpha + \text{Cu}^2\text{P}$
Attaque au perchlore de fer acide $\times 200$



Fig. 5. — Laiton à 57,8 o/o Cu et 0,64 0/0 P coulé en sable
Solution $\alpha + \beta' + \text{Cu}^2\text{P}$
Attaque au perchlore de fer acide $\times 200$

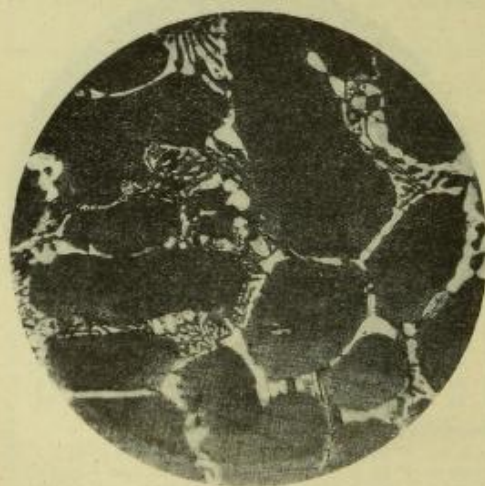


Fig. 4. — Laiton à 66,6 o/o Cu et 1,47 P coulé en sable.
Solution $\alpha + \text{Cu}^2\text{P}$ Aspect eutectique
Attaque au perchlore de fer acide $\times 200$

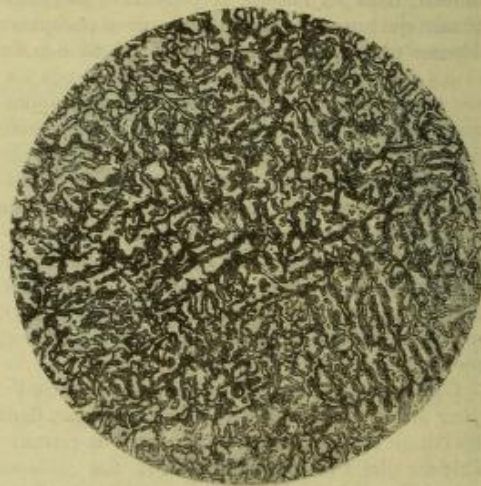


Fig. 6. — Teneur en phosphore 1,7 o/o.
Attaque oxydante.
Grossissement 200 fois.

Naturellement, les laitons coulés en coquilles sont à structure plus fine (comparer fig. 1 et 2, fig. 4 et 6 exécutées au même grossissement 200) et à solution α moins homogène, ce qui explique l'écart de

phore ne semble pas modifier sensiblement les proportions de α et de β' ; le coefficient d'équivalence du phosphore pour les laitons à 68 o/o Cu serait donc voisin de 1.

En conclusion, la présence fortuite ou accidentelle de faibles teneurs en phosphore, inférieures à 0,05 o/o, est sans inconvénient dans les laitons; il n'en est plus de même lorsque la proportion de cet élément s'élève au-dessus de cette limite.

**2^o REMARQUES GÉNÉRALES
A PROPOS DE CES EXPÉRIENCES**

Ces essais nous fournissent l'occasion de montrer que certaines remarques que nous avons rappelées à propos des fontes s'étendent également aux autres alliages et ont ainsi un caractère tout à fait général.

Les résultats des essais mécaniques sur cette série de laitons apportent une nouvelle confirmation, s'il en était besoin, de l'erreur fondamentale que l'on commet en soumettant à l'essai de traction des métaux ou alliages à faibles déformations de rupture; et les discordances que nous venons de constater pour les laitons très phosphoreux, entre l'allure des variations de la dureté et celle des caractéristiques à la traction, n'ont pas d'autre origine. Ils montrent en outre l'influence notable des conditions de refroidissement sur les propriétés mécaniques des pièces coulées et par suite de l'absence de toute signification des essais effectués sur éprouvettes coulées indépendamment de la pièce et surtout si ces éprouvettes sont coulées en coquille, ainsi que cela se pratique parfois pour la qualification de pièces moulées en laiton spécial comme les hélices de marines (1).

Si nous insistons à nouveau sur ces faits que l'expérience a surabondamment prouvés, c'est que nous avons encore pu constater qu'ils sont parfois méconnus ou même discutés, malgré leur caractère général et leur évidence pour tous ceux qui se sont quelque peu sérieusement occupés d'essais ou d'études des alliages.

En ce qui concerne spécialement le rôle du phosphore dans les laitons, la présence de cet élément ne peut être que fortuite et non intentionnelle, car il ne peut jouer ici le rôle de désoxydant comme dans les bronzes.

Classons en effet les chaleurs de formation des oxydes par unité de poids d'oxygène pour divers corps utilisés comme désoxydants industriels, par

rapport à celles du cuivre, du zinc, et de l'étain :

Chaleur de formation par unité de poids d'oxygène (d'après J. W. RICHARDS : calculs métallurgiques.)

Magnésium	8.963
Aluminium	8.179
Zinc	5.300
Phosphore	4.566
Etain (pour SnO).....	4.419
— (pour SnO ²).....	4.416
Cuivre (pour Cu ² O).....	2.738

Le phosphore pourra donc jouer le rôle de désoxydant vis-à-vis du cuivre et de l'étain et par suite être utilisé pour les bronzes (1). Mais il n'en est pas de même pour les laitons : c'est le zinc qui est le corps le plus réducteur et par suite, même en présence de phosphore, c'est ZnO qui restera dans l'alliage sous forme d'inclusion; pour réduire cet oxyde de zinc, il faut faire appel à des réducteurs plus énergiques que le phosphore, tels que l'aluminium et le magnésium (on pourrait avoir recours également au silicium, au bore, au vanadium, aux métaux alcalins et alcalino-terreux).

Mais il ne faut pas oublier à ce sujet que le choix d'un désoxydant ne doit pas se baser uniquement sur la possibilité de réduction des oxydes présents, mais aussi s'inspirer des considérations fondamentales suivantes :

1^o Comme on ignore en général le degré d'oxydation du métal ou de l'alliage, on ajoute toujours le désoxydant en quantité telle qu'il en subsiste un excès dans le métal ou alliage après désoxydation; la présence de cet excès, que l'on peut constater à l'analyse, est une garantie de la complète réduction des oxydes présents, c'est ainsi que dans la désoxydation des bronzes par le phosphore, l'alliage doit demeurer phosphoreux (présence du phosphore décelable par le molybdate d'ammonium). Il faut donc que le désoxydant ne nuise pas aux qualités de l'alliage dans les teneurs où il subsiste après avoir désoxydé. Remarquons à cet égard que cet effet dépend non seulement de la constitution de l'alliage complexe formé par l'incorporation du désoxydant lequel peut, soit entrer en solution solide (comme le phosphore en petite quantité dans les alliages de cuivre et le carbone dans les aciers m/m³), mais aussi de l'état structural de cet alliage.

2^o Il faut que les produits de l'oxydation du corps désoxydant ajouté puissent s'éliminer du

(1) Voir à ce sujet l'étude de Neil J. Mac Lean (*J. Inst. Métal.*, XXXII, 193, 1929) qui cite en particulier un bronze à haute résistance (laiton au manganèse donnant R=45 kgr/mm² et A=27 o/o sur éprouvettes de réception coulées en coquille et R=30 kilos, et A=3 o/o sur la pièce même).

(1) Heyn et Bauer (cuivre, étain, oxygène, *Rev. Mét.*, 11 bis, 364, 1904) ont montré, micrographiquement l'action réductrice de Sn par rapport au cuivre oxydé et l'effet du phosphore sur les bronzes oxydés.

métal fondu ou en tout cas ne jouent pas un rôle préjudiciable aux qualités de l'alliage. Ce problème est complexe : tout d'abord il faut que les produits d'oxydation se séparent du bain métallique et n'y soient par suite pas solubles comme l'oxyde de



Fig. 7. — Laiton à 57 0/0 Cu et 1,73 0/0 P coulé en coquille.
Solution $\alpha + \beta' + \text{Cu}^3\text{P}$
Attaque oxydante $\times 200$

cuivre dans le cuivre; en outre ils peuvent être :

Gazeux, comme l'oxyde de carbone, quand le carbone désoxyde ou l'acide phosphorique quand le phosphore désoxyde à température assez élevée en l'absence de bases susceptibles de fixer cet acide ;

Liquides, comme certains silicates formés par désoxydation de l'acier par le silicium ;

Solides, comme l'alumine dans la désoxydation de l'acier par l'aluminium, l'oxyde de zinc dans la désoxydation du cuivre par le zinc.

Les produits d'oxydation gazeux non éliminés donnent des soufflures, bulles et trous et un métal poreux, les autres amènent la naissance d'inclusions jouant un rôle néfaste pour les propriétés mécaniques.

Dans tous les cas, l'élimination dépend de la viscosité de l'alliage fondu ; elle est donc favorisée toujours par l'élévation de température et la durée de séjour à l'état fluide après désoxydation ; elle dépend aussi de la différence de densité entre le bain et les produits d'oxydation et de la grosseur des particules qui constituent ce dernier (1). A égalité de fluidité du bain les produits gazeux s'éliminent mieux que les produits liquides et ces derniers à densité égale, mieux que les produits solides. En un mot comme les oxydes gazeux sont l'exception, il faut chercher à obtenir un produit d'oxydation *liquide* aussi léger et en particules aussi grosses que possibles. Ainsi l'examen de l'effet d'un désoxydant n'est pas un problème simple et nous nous contenterons d'en avoir ainsi indiqué les grandes lignes pour en montrer la complexité.

(1) La vitesse de décantation des éléments solides dans un liquide par chute ou par ascension (suivant qu'elles sont plus denses ou moins denses) diminue très vite quand le diamètre des particules augmente. C'est ainsi que, dans l'eau, une bille de verre tombe de 1 cm. :

en 0,05 secondes, si elle a un diamètre de 1 mm. ;

en 14 heures, si elle a un diamètre de 0,001 mm. (1 micron) ;

en 16 ans, si elle a un diamètre de 0,01 micron.

Un Nouvel Alliage d'Aluminium :

L'ALPAX

par M. DE FLEURY

Désigné sous le nom d'Alpax en France et en Amérique, et sous le nom de silumin en Allemagne, un nouvel alliage d'aluminium commence à donner lieu à de nouvelles applications, qui font l'objet de diverses études dans les revues françaises et étrangères.

Selon toutes probabilités, l'extension de ces

dernières sera très vaste, car le nouveau produit répond à un véritable besoin et comble une lacune. Il s'agit en effet, d'un alliage léger de fonderie, à haute résistance, et non fragile, produit qui manquait jusqu'ici à la métallurgie des métaux légers.

Le duralumin, bien connu en aviation, ne possède

en effet, ses propriétés, remarquables en tous points, qu'à l'état laminé ou forgé, après trempe et recuit, c'est-à-dire qu'il est à l'aluminium, pour ainsi dire, ce que l'acier forgé est au fer doux.

L'Alpax, au contraire, ne possède ces qualités qu'à l'état de pièces coulées de fonderie.

Voici donc la métallurgie d'aluminium récemment et admirablement complétée, au même titre que le fut celle du fer lorsqu'elle a pu, après s'être vue limitée à la forge et à la fonte de fer, aborder industriellement (ce qui est encore assez récent) l'exécution de pièces en acier coulé en fonderie.

En effet, l'Alpax, par rapport aux pièces coulées en aluminium ordinaire, peut être comparé fort exactement à ce qu'est l'acier coulé par rapport à la fonte de fer. Cette simple comparaison fera toucher du doigt l'importance du champ des applications ouvert à l'Alpax.

La composition de l'alliage ne présente, à la lettre, au point de vue théorique, pas de caractère de nouveauté. Il s'agit purement et simplement d'un alliage à 13 0/0 de silicium, point eutectique de la série des alliages binaires aluminium-silicium étudiés depuis longtemps, et dont aucun ne semblait présenter de cas particulier intéressant jusqu'ici. Les documents relatifs à cette question sont réunis dans une étude qu'a fait paraître M. GUILLET sur les alliages aluminium-silicium et sur l'Alpax en particulier, dans la Revue de Métallurgie de mai 1922.

Par contre, cette composition présente bien, au plus haut degré, ce caractère d'imprévu, et même de renversement des idées faites et des traditions, qui accompagne assez souvent le progrès. Il était, en effet, de tradition que le silicium, dont la présence est normale dans l'aluminium, y était une impureté toujours des plus nuisibles.

De fait, l'alliage d'aluminium-silicium à 13 0/0, préparé simplement, est cassant, à gros grain et semble même inférieur aux alliages usuels.

C'est un traitement spécial en creuset, qui lui donne les qualités finales.

Quoiqu'il en soit, ce traitement, qui a été trouvé et mis au point par le docteur PACZ, l'inventeur de l'Alpax, constitue une condition absolument nécessaire et suffisante jusqu'à présent, pour faire, d'un mauvais alliage d'aluminium à 13 0/0 de silicium, un produit absolument remarquable.

Ces traitements font précisément l'objet des brevets du D^r PACZ dont les licences exclusives ont été acquises pour la France et l'Amérique, en participation, par la Compagnie des Produits Chimiques et Electro-Métallurgiques d'Alais, Froges

et Camargue, et par la Société d'Electro-Chimie et d'Electro-Métallurgie, et en Allemagne, par la Metallurgische Gesellschaft, de Francfort.

Le traitement semble constituer en réalité un véritable affinage physique et chimique de l'alliage au moyen de sels alcalins.

Là encore, des traditions disaient que l'aluminium ne pouvait subir d'affinage *a posteriori*, en raison de ses affinités supérieures à celles de la plupart des corps connus. Il pouvait servir d'épuration, comme cela a lieu dans les aciéries, mais il ne pouvait être affiné par aucun corps.

De fait, le mécanisme de la réaction PACZ est mal élucidé d'un point de vue théorique.

Il n'en subsiste pas moins le fait de son efficacité remarquable pour donner un métal très léger, nerveux, fibreux, non fragile et à grand allongement.

En raison du caractère un peu nouveau de ces licences, dont la mise au point industrielle sort à peine de la période d'évolution, je ne suis pas autorisé à m'étendre sur l'outillage ni sur le mode opératoire de ces opérations. Tout ce qui peut être dit sur la question l'a été dans l'article de M. GUILLET, déjà mentionné.

Disons seulement que ces opérations nécessitent de la méthode, de la précision, et un contrôle de laboratoire outillé et encadré, comme cela eut lieu en fonderie d'acier pour la bonne conduite d'un Bessemer.

Ces conditions obligent au début, jusqu'à ce que les applications nouvelles soient définitivement acquises et classées, les licenciés à suivre de très près les résultats obtenus chez les fondeurs auxquels ils confient le métal nouveau, en prenant, en quelque sorte, la responsabilité des caractéristiques garanties, ce qui est indispensable pour la démonstration et le sûr développement des applications.

Cette façon de procéder, en raison de l'encadrement technique qu'elle nécessite, de l'accès perpétuel dans les ateliers de fonderie, ne permettra vraisemblablement d'accorder, pendant quelque temps, qu'un petit nombre de sous-licences, et actuellement, seules les Fonderies de Crans, à Annecy, sont à même de fournir du métal en pièces coulées, avec M. MONTUPET, à Creil, croyons-nous.

Mais l'Association Technique de Fonderie se doit de mettre ses adhérents au courant des nouveautés métallurgiques dès leur apparition.

Le nouveau métal présente les caractéristiques suivantes :

1° Il présente une densité de 2,64, de 10 0/0 inférieure à celle des alliages usuels de fonderie en aluminium. C'est le tiers de la densité de l'acier.

2° Sa conservation aux agents atmosphériques est au moins égale à celle de l'aluminium pur, c'est-à-dire très supérieure aux alliages normaux d'aluminium de fonderie.

3° Il possède une étanchéité parfaite, favorable à l'exécution des blocs cylindriques des moteurs à explosion, avec circulation d'eau.

4° Son retrait, qui ne dépasse pas celui de la fonte de fer, est très inférieur à celui des alliages ordinaires d'aluminium.

5° Il n'est pas fragile pendant la période de solidification. Cette qualité, jointe à la précédente, permet d'envisager l'exécution des pièces les plus volumineuses et les plus compliquées, sans déchets appréciables.

6° Les caractéristiques de traction garanties sont : $R > 19$ kilos par mm^2 , avec $A \text{ 0/0} > 5$, avec la condition supplémentaire $R + A > 25$. Ce sont des résultats mécaniques absolument inconnus, qui créent une véritable révolution dans l'emploi des métaux légers en fonderie.

7° La charge de rupture de l'Alpax aux températures élevées (300°) est très supérieure à celle des autres alliages de fonderie d'aluminium.

8° En outre, l'attention doit être attirée sur l'emploi de l'Alpax pour les pièces de frottement.

Les applications, qui se font jour en ce moment même, permettent de prévoir que, dans un avenir de trois ou quatre ans, le tonnage d'aluminium actuellement employé dans l'industrie automobile pourra être triplé, à nombre égal de véhicules.

De là, elles s'étendront à de nombreuses conceptions mécaniques.

En ce qui concerne l'automobile, on verra très probablement apparaître, d'ici peu, des voitures aussi confortables, bien plus légères, aussi rapides et de bien moindre consommation que les voitures actuelles.

Les points dont l'Alpax permet d'envisager la réalisation sur une grande échelle et immédiatement, sont les suivants :

Les ponts arrière ;

Les roues ;

Les freins ;

Les blocs moteurs ;

Les pistons et les bielles ;

Les éléments de carrosserie.

Pour se rendre compte de l'ordre de grandeur de la marge d'allègement, disons seulement que la

simple substitution des pièces précédemment énumérées sur un cycle-car de moins de 350 kilos a permis d'abaisser le poids de ce dernier de 60 kilos, sans nuire à la solidité ni à la tenue sur la route, au contraire, et ce, de premier jet, sans études spéciales nouvelles appropriées du véhicule en lui-même.

Que sera cette marge quand le véhicule sera étudié spécialement en vue de l'emploi rationnel du nouveau métal ?

La seule substitution d'un carter de pont et des deux roues arrière en Alpax, sur un autobus, procure un allègement de 250 kilos, rien que sur les masses non suspendues.

Les bielles en Alpax coulé ont été également expérimentées en France à la T. C. R. P., et en Allemagne par la maison Rumpler avec un égal succès.

Le problème est excessivement intéressant en raison des vitesses croissantes des moteurs à explosion, qui permettent des réalisations économiques et toujours moins pesantes.

Au point de vue fonctionnement et durée, ces moteurs seront aussi sûrs que les autres, dans la mesure même où l'on pourra alléger leurs masses en mouvement.

Dans la grande construction navale, on peut envisager, dès maintenant, de gros moteurs Diesel, entièrement en Alpax, ce qui sera particulièrement intéressant pour les sous-marins ou les embarcations rapides ou à grand rayon d'action, où le poids mort joue un rôle si néfaste.

En aviation, bien entendu, le nouveau métal fera sa place encore plus large que partout ailleurs.

Bref, l'Alpax est appelé à se substituer à l'acier coulé, partout où la légèreté sera requise.

Dans la construction des chemins de fer en Allemagne, le silumin, c'est-à-dire l'Alpax, a déjà fait l'objet de substitutions à de fort tonnages de bronze, pour les coussinets de wagons. Mais, là, c'est une question d'importation de cuivre à éviter qui a été envisagée.

Toutefois, il convient d'attirer une fois de plus l'attention sur un point, c'est que les pièces en Alpax, que l'on a à substituer à celles de l'acier, comme cela a lieu dans tous les métaux légers, doivent être dimensionnées autrement.

Les bases des calculs et des tracés doivent tenir compte, non seulement de la densité du métal, et de sa résistance, mais encore et surtout de son module d'élasticité.

Ceux qui désireraient approfondir ces questions n'auraient qu'à se reporter à ma conférence de mai 1921, parue dans le Bulletin de la Société

d'Encouragement n° 7, et encore à l'étude parue également sous mon nom dans la Revue de Métallurgie de mai 1922.

Bref, la règle est que les pièces d'aluminium doivent être conçues plus massives et plus étendues que les pièces d'acier. Cette règle n'est pas souvent bien suivie, et c'est là qu'il faut voir les principales causes des échecs possibles.

La recherche de la légèreté amène, en effet, le constructeur, malgré lui, à poursuivre l'allègement, non seulement par la nature du métal, mais encore par des formes plus fouillées qui correspondent mal au module d'élasticité de la matière.

Si l'on se met en garde contre cette erreur, ou même contre celle qui consiste à exécuter en métal léger rigoureusement la pièce en acier correspondante, bref si l'on étudie spécialement la pièce rationnellement, on n'a pas à craindre d'échec.

La fonderie d'Alpax comportera donc l'exécution de pièces massives à grand développement, à section d'inertie élevée, raidie par des cloisons et des noyautages, dont le tracé rationnel devra nécessiter un étroit concours du producteur, du fondeur et du mécanicien, jusqu'au moment où l'esthétique propre à l'emploi du nouveau produit sera devenue classique à son tour.

