

*Des variations de la teneur en carbone et en phosphore  
dans les lingots d'acier.*

(Communication de M. AXEL WALHBERG de Stockholm )

---

Il est bien connu de tous les métallurgistes que, depuis l'introduction sur une grande échelle, des procédés Bessemer et sur sole, il a été impossible d'obtenir des lingots d'une composition chimique parfaitement homogène, le manque d'homogénéité étant dû au phénomène de ségrégation qui s'accomplit pendant la solidification graduelle de la masse fondue dans les lingotières.

Cette ségrégation se rencontre dans deux cas distincts. D'abord, dans les conditions normales, spécialement si la température de coulée a été modérée, les alliages dont le point de fusion est le plus élevé se solidifient plus promptement ; en d'autres termes, les parties extérieures du lingot, particulièrement celles situées vers l'extrémité la plus basse, deviennent plus pauvres en carbone, silicium, manganèse, phosphore, etc., ce qui est dû à la concentration graduelle du volume de ces matières vers l'intérieur et vers le haut. La concentration est la plus prononcée dans le centre même de la moitié supérieure du lingot. Le résultat final montre ainsi un changement graduel dans la composition chimique. De plus, en d'autres cas, si la coulée se pratique à une très haute température et si les lingotières sont d'assez grandes dimensions, deux circonstances qui contribuent à produire un refroidissement lent, il arrive fréquemment, indépendamment d'une tendance plus marquée à la ségrégation, qu'il se forme des conglomérations d'une composition chimique complètement distincte de la matière environnante et, exceptionnellement, en grande quantité.

Ces conglomérations, qui sont généralement plus accentuées dans les aciers à haute teneur en carbone, amènent souvent une sérieuse diminution de la qualité dans le cas où le métal est destiné à des usages manufacturiers, bien que de semblables irrégularités, qui peuvent être attribuées à l'un ou l'autre mode de ségrégation, soient sans doute beaucoup modifiées ou même pratiquement détruites

pendant le traitement ultérieur, ce qui est principalement dû au réchauffage répété de la pièce.

Chaque consommateur d'acier est toujours désireux d'obtenir un produit d'une homogénéité aussi grande que possible par rapport à sa composition chimique. Comme conséquence, on rencontre chez les fabricants une tendance à s'accommoder, autant que possible, avec les exigences du consommateur. Mais dans la suite des temps, ces exigences ont constamment grandi, jusqu'à devenir excessives. Ce résultat peut être attribué en partie au progrès moderne, spécialement en ce qui concerne les méthodes de production perfectionnées, en partie aussi et peut être principalement, à la faute des producteurs eux-mêmes qui, sacrifiant à la concurrence du jour, sont parfois amenés à accepter des conditions, même absurdes, dans le seul but de s'assurer un contrat de fourniture.

C'est cet état de choses qui a donné lieu aux recherches décrites par l'auteur, recherches entreprises avec le concours financier du Conseil des directeurs du *Jernkontor* (Comptoir du fer) (1) et que ce dernier a voulu soumettre au Congrès pour donner plus d'autorité aux décisions proposées.

L'auteur fait d'abord connaître le programme des recherches. Il s'agissait d'établir :

1° Quelles sont les limites de variation du carbone et du phosphore rencontrés dans les aciers doux, demi-durs et très durs qui ont été coulés à une température normale, en lingots de 10 à 12 pouces, et ensuite laminés en billettes de 4 pouces, soit directement, soit après un refroidissement et un réchauffage ;

2° Si, et dans quelle mesure, les analyses chimiques d'échantillons absolument identiques, donnent des résultats différents en ce qui concerne le pourcentage du carbone et du phosphore quand elles sont effectuées par des chimistes différents.

La matière nécessaire était fournie par quatre aciéries différentes et consistait en trois lingots de 10 à 12 pouces, de chaque usine, contenant respectivement de 0.10 à 0.20 %, 0.50 à 0.60 % et 1.0 à 1.20 % de carbone.

---

(1) Voir au sujet de cette puissante association, l'article de M. PONTIÈRE sur la sidérurgie en Suède. *Annales des Mines de Belgique*, t. IV, pp. 39 et suiv.

Les lingots ainsi obtenus furent ensuite laminés en présence de l'auteur, en billettes de 4 pouces carrés, de chacune desquelles deux plaques furent coupées transversalement en vue de l'analyse, l'une vers le sommet et l'autre vers la base du lingot primitif, à une distance de 4 1/2 à 5 pouces de l'extrémité inférieure de la billette et à une distance de 5 à 5 1/2 pouces de la surface supérieure du lingot. Cette précaution était d'autant plus nécessaire que la température de fusion avait généralement été modérée.

De chaque plaque furent prélevés au moins trois échantillons pour l'analyse: l'un, provenant du centre de la billette au moyen d'un foret de 3/4 pouce appliqué verticalement sur la surface unie de la plaque; un autre, de plusieurs petits trous percés sur le bord extérieur aussi près que possible de la surface et un troisième, de trous semblables percés en rond à une distance égale à environ la moitié de la distance du centre au bord extérieur. L'analyse d'échantillons prélevés de cette façon permettait de s'assurer de la variation de la composition chimique de l'extérieur vers le centre.

L'auteur fait ensuite connaître les précautions prises pour le forage des échantillons.

Dans le but de s'assurer dans quelles limites les résultats obtenus par différents chimistes analysant absolument les mêmes échantillons pouvaient différer, l'auteur se mit en rapport avec plusieurs spécialistes distingués, non seulement en Suède, mais encore dans des pays étrangers. En Angleterre, il reçut la collaboration de M. J.-E. Stead, mais ne put en obtenir en Allemagne. Un meilleur accueil fut fait à sa demande en Autriche, par le baron Jüptner von Jonstorff, de Donawitz. En Suède, toutes les diverses séries de déterminations analytiques furent effectuées à l'Institut d'essais de la Haute Ecole royale technique, à Stockholm. Deux séries de déterminations de carbone furent faites en même temps que deux déterminations du phosphore au laboratoire Hammarström, à Kopparberg.

Les résultats des analyses sont consignés dans plusieurs tableaux.

L'examen de ces derniers montre les écarts dans les teneurs trouvées. Un fait d'une certaine importance mérite d'être mentionné spécialement, parce qu'il est en opposition avec ce que l'on attendait; il consiste en ce que les variations en carbone et phosphore apparaissent d'une manière plus prononcée dans le cas d'un acier doux que d'un acier dur.

L'un des tableaux donne les résultats moyens des valeurs se rapportant aux parties supérieures et inférieures des lingots, arrangés

de manière à montrer la variation graduelle du pourcentage du carbone et du phosphore de la surface vers l'axe du lingot, tandis que les valeurs correspondantes données dans un autre tableau montrent la variation de la composition chimique qui existe aux parties supérieures et inférieures des lingots.

Tandis que la règle mentionnée ci-dessus relative à la composition chimique des lingots s'est trouvée en général vérifiée par les résultats donnés, la variation apparaît plus ou moins accentuée suivant les cas et en raison des principales causes ci-après :

a) La température de moulage, attendu que les lingots coulés à une basse température deviennent plus homogènes que ceux coulés à une haute température ;

b) Le choix des lingotières, attendu que dans les circonstances identiques, un métal plus homogène est obtenu en employant de petites au lieu de grandes lingotières ;

c) La teneur en carbone, attendu que la composition chimique devient plus uniforme avec des pourcentages croissants de carbone.

Il ressort d'un tableau que, dans les aciers doux, demi-durs et très durs, le pourcentage en carbone est moindre dans les parties extérieures des lingots que dans les parties correspondantes du centre, de 21.0, 2.9 et 0.9 %, respectivement. Quant au pourcentage en phosphore, les résultats correspondants seront de 50.0, 14.7 et 11.0 %, respectivement. Des résultats complètement analogues sont obtenus en comparant les parties du sommet et de la base des lingots, le pourcentage de carbone dans les parties de la base étant, par rapport à celles du sommet inférieur, dans les rapports de 17.6, 5.4 et 0.5 %, respectivement, tandis que les rapports correspondants quant au pourcentage du phosphore sont de 25.0, 9.1 et 6.1 %, respectivement.

d) La méthode de moulage des lingots avec chapeaux, qui paraît favoriser essentiellement l'homogénéité de la composition chimique. On trouve également que les variations en phosphore sont beaucoup plus considérables que celles en carbone.

L'auteur examine ensuite les résultats comparatifs, dans le cas d'échantillons identiques obtenus dans les différents laboratoires.

Comme il a été mentionné ci-dessus, un des principaux problèmes à résoudre par la présente recherche était de déterminer à quel point les analyses d'une même substance, effectuées dans différents laboratoires, pouvaient concorder entr'elles. La question doit être non seulement considérée d'un point de vue purement scientifique, mais elle

doit l'être aussi en tenant compte des exigences de la pratique. L'auteur n'a pas l'intention de critiquer les résultats obtenus par les différents chimistes, mais de montrer les écarts auxquels conduisent les diverses méthodes par eux employées. Il espère attirer l'attention de tous ceux qui s'intéressent à l'industrie du fer et de l'acier, sur l'urgente nécessité de formuler des méthodes d'essais plus uniformes qui peuvent recevoir une agrégation internationale, de manière à prémunir contre les risques auxquels sont exposés actuellement les producteurs de fer et d'acier, bien qu'aucune faute ne puisse leur être reprochée.

Les différentes méthodes ne paraissent pas donner des écarts de même ordre dans les divers cas. Ainsi la méthode reposant sur la combustion du carbone employée à l'École technique supérieure de Stockholm, dans les cas d'aciers doux ou demi-durs, donnait des résultats inférieurs à ceux obtenus dans les autres laboratoires, tandis que le contraire se produisait avec les aciers à haute teneur en carbone.

Dans le cas de faibles teneurs en carbone, les valeurs des déterminations par combustion du baron Jüptner ont été trouvées être de 40 % supérieures à celles obtenues par M. Stead et à l'Institut d'essais de Stockholm, ces dernières étant à peu près les mêmes, tandis qu'elles sont inférieures d'environ 2 % dans le cas d'aciers durs. Les mêmes remarques s'appliquent à la valeur des déterminations calorimétriques respectives.

En ce qui concerne les teneurs moyennes en phosphore, les valeurs obtenues par M. Stead et par l'Institut royal de Stockholm sont à peu près identiques, tandis que celles des autres laboratoires sont quelque peu plus élevées.

L'auteur conclut comme suit :

Des résultats des recherches en question, il résulte qu'il ne peut y avoir de doute que les contrats de fournitures spécifiant une marge trop étroite, en ce qui concerne le pourcentage du carbone et du phosphore, doivent toujours être considérés comme comportant des risques plus ou moins sérieux.

On ne doit pas oublier, néanmoins, que les défauts les plus visibles dans l'homogénéité ont été rencontrés dans la section transversale des lingots, ou entre la surface extérieure et l'axe, tandis que, comme il est bien connu, ces défauts sont de nature à être essentiellement modifiés ou même pratiquement annulés, si le traitement subséquent

comporte des réchauffages répétés. Il convient de rappeler également que, si ces irrégularités sont possibles, elles ne sont pas absolument évidentes à l'essai, comme, par exemple, quand on analyse de l'acier laminé en barres de 2 pouces carrés, desquelles les échantillons ont été prélevés, soit par forage, soit par limage à travers la matière.

En ce qui concerne la diversité de composition chimique au sommet et à la base des lingots, l'écart se maintiendra indépendamment de tout traitement ultérieur, ce qui est un fait que l'on devra toujours prendre en considération.

Des résultats analytiques notablement différents peuvent être obtenus par des chimistes différents, circonstance qu'il convient de ne pas perdre de vue lors de la conclusion de contrat, jusqu'à ce que des méthodes analytiques donnant une complète satisfaction puissent être fixées et reconnues par une convention internationale.

L'auteur formule conséquemment les vœux ci-après :

1° Aussitôt que possible, une méthode analytique internationale sera arrêtée ;

2° Dans les spécifications, la limite de variation du pourcentage de carbone ne sera pas inférieure à 0.05 %, au-delà de celle qui aura été stipulée ;

3° La limite de variation en phosphore ne dépassera pas de 0.005 celle qui a été stipulée.

---

A la suite de la lecture de ce travail, M. STEAD proposa que les quatre chimistes renseignés par M. Wahlberg, analysassent quatre échantillons absolument identiques et que les méthodes qui donneraient les résultats les plus concordants fussent publiées en vue de leur adoption.

M. F.-W. PAUL fit remarquer que les résultats des chimistes sont plus concordants et plus sûrs quand les échantillons sont constitués par une baguette de 2 pouces de diamètre au lieu de l'être par des rognures de forage. Il signala, en outre, que les analyses ne renseignent pas la teneur en silicium dans les différentes qualités d'acier ; ce à quoi l'auteur répondit qu'il n'avait pas eu le temps d'examiner ce point, ayant dû faire 600 analyses depuis le 15 juin 1901 jusqu'à l'ouverture du Congrès ; d'ailleurs il s'agissait d'acier ordinaire suédois à très faible teneur en silicium.

---