

REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

M. SPREUX

Contrôle statistique des mises au mille dans la coulée et le laminage de l'acier

Revue de statistique appliquée, tome 3, n° 3 (1955), p. 63-71

http://www.numdam.org/item?id=RSA_1955__3_3_63_0

© Société française de statistique, 1955, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « *Revue de statistique appliquée* » (<http://www.sfds.asso.fr/publicat/rsa.htm>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

CONTROLE STATISTIQUE DES MISES AU MILLE DANS LA COULÉE ET LE LAMINAGE DE L'ACIER ⁽¹⁾

par

M. SPREUX

Ingénieur Divisionnaire USINOR - DENAIN

Le chiffre le plus représentatif de l'exploitation d'un atelier de transformation est en général le rendement ou (son inverse) la mise au mille (‰). Améliorer la ou les ‰ est le souci constant du responsable d'une fabrication.

La ‰ générale d'une fabrication est le produit des ‰ de chacun des cycles successifs de la transformation. On cherchera à améliorer ces différentes ‰ partielles.

Dans un cycle donné, la ‰ intéressante est la ‰ moyenne réalisée sur une certaine période et non la ‰ idéale réalisable sur une opération.

Chercher à réaliser à chaque opération les conditions de cette ‰ idéale, ne conduit pas à l'obtention de la meilleure ‰ moyenne.

Les conditions d'obtention de celle-ci nécessitent une étude particulière. Les exemples ci-dessous sont pris dans les cycles de la coulée de l'acier et de laminage du lingot (2).

COULÉE DE L'ACIER

Les erreurs, qui s'accumulent au cours de l'élaboration, sur les poids de matières enfournées, sur les pertes par oxydation ou par métal figé, font que les charges définitives peuvent avoir des tonnages s'écartant sensiblement du tonnage visé.

Nous avons représenté (fig.1) la courbe des fréquences cumulées des tonnages d'acier (3) obtenus dans un convertisseur Thomas pour une charge théorique de 28 tonnes d'acier doux.

L'acier obtenu doit être coulé dans des lingotières.

Suivant la destination ultérieure, les lingots ainsi coulés devront être à poids fixe, ou pourront être à poids quelconque. Examinons ces deux cas.

LINGOTS A POIDS LIBRES

On dispose de lingotières d'un type unique dans lesquelles on doit couler en lingots notre coulée de 28 tonnes.

Le lingot maxi (lingotière pleine) pèse 5 t. Le lingot minimum acceptable doit avoir une hauteur suffisante pour être entraîné, couché, sur les rouleaux d'amenée du Blooming. Cette hauteur correspond à un poids de 3 t. C'est le dernier lingot qui doit encaisser au mieux les irrégularités de poids de la charge. On doit décider quelle doit être pour cela la charge coulée dans les cinq premiers lingots.

(1) Etude présentée à la Commission des Aciéries Thomas de l'Association Technique de la Sidérurgie.

(2) Un exemple de même genre, concernant le laminage des billettes, est exposé dans un article de Sir Charles GOODEVE, Directeur de la BISRA. On trouvera la traduction de cet article dans la circulaire d'Informations Techniques (n° 2 de 1954) du C.D.S.

(3) Utilisable, c'est-à-dire qui pourra être coulé ; les "fonds de poche" sont exclus.

Examinons ce qui se passe dans la première répartition qui vient à l'esprit, celle qui donne un dernier lingot de 4 t. pour la coulée de 28 t. : on coulera dans ce cas cinq premiers lingots de moyenne 4,8 t. = 24 t. (Dans la suite de l'exposé nous appellerons T5 le tonnage coulé dans les cinq premiers lingots. Ici T5 = 24).

La courbe de fréquence nous renseigne immédiatement sur les divers cas qui peuvent se produire.

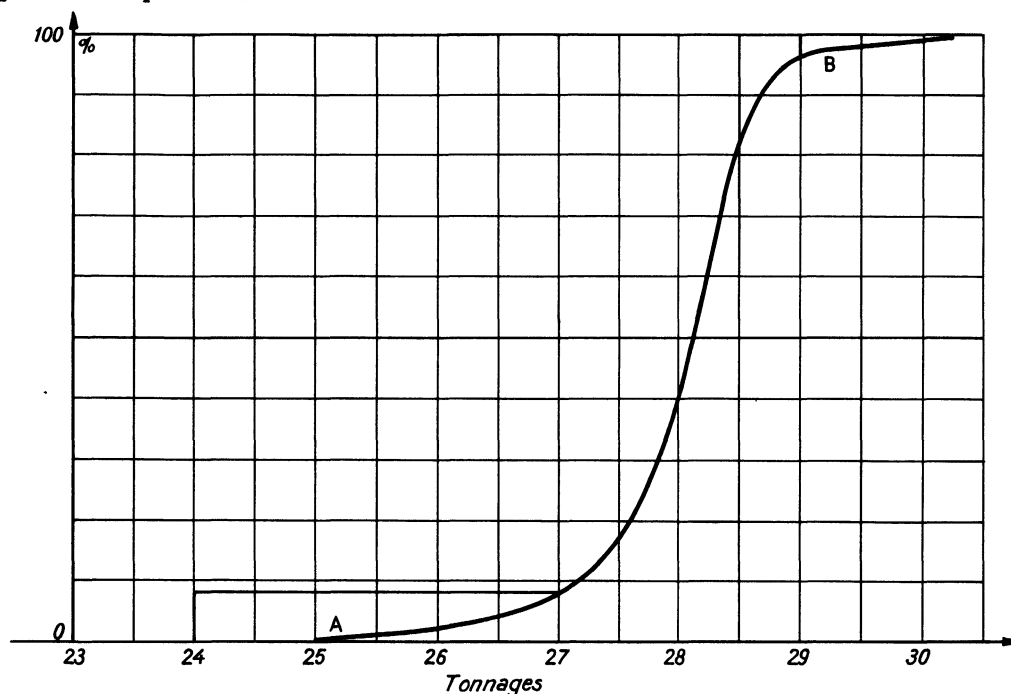


Fig. 1

Dans 8 % des cas (charges pesant moins de 27 t.) le 6ème lingot sera inutilisable comme trop court et complètement perdu. On ne récupérera que 24 t. dans la charge. La perte moyenne qui en résultera pour l'ensemble des coulées est représentée par la surface A dans laquelle 2 mm² représentent 1 kg d'acier par coulée.⁽¹⁾

Dans 88 % des coulées (charges comprises entre 27 et 29 t.) le 6ème lingot sera coulé dans des conditions satisfaisantes et pesera entre 3 et 5 t. : aucune perte pour ces charges.

Dans les 4 % de coulées dépassant 29 t. l'excès d'acier par rapport à 29 t. sera perdu. La perte moyenne est représentée à la même échelle que précédemment par la surface B.

En mesurant les deux surfaces A et B on trouve que dans le cas envisagé de T5 = 24 t., pour un poids moyen de coulée de 28.080 kg on ne récupère en lingots que 27.875 kg.

Il est visible qu'on perdrait moins en mettant moins d'acier dans les 5 premiers lingots. On fera donc le calcul pour diverses valeurs de T5. La figure 2 représente (en pointillé noir) les valeurs de A et B suivant les différents "T5" et (en trait fort) la valeur correspondante de la perte totale P.

On voit que le réglage à prendre est de 23.700. C'est la valeur de T5 qui donne la moindre perte. Cette perte minimum est de 185 kg par coulée.

Cette perte de 185 kg minimum est inévitable dans les conditions représentées par la courbe de fréquence utilisée. Ce minimum ne peut être amélioré qu'en améliorant la courbe de fréquence.

(1) En raison de la réduction due à la production photographique du dessin original, un carreau de la figure (1) correspond à 100 mm².

SUITE POSSIBLE A CE PROBLÈME

Il est bien fâcheux de perdre 185 kg par coulée, c'est une perte de 6 à 7 points sur la ‰. Comment la réduire, en admettant qu'on fait déjà par ailleurs tous les efforts pour améliorer la courbe de fréquence ?

On peut envisager d'augmenter le **jeu de capacité** des lingotières, par exemple en augmentant la hauteur. (Si les conditions de laminage permettent un poids et une hauteur de lingot plus élevés). Le poids minimum reste alors inchangé (3 t.) le poids maximum est augmenté. Ceci conduit évidemment à une augmentation du poids des lingotières donc de leur coût.

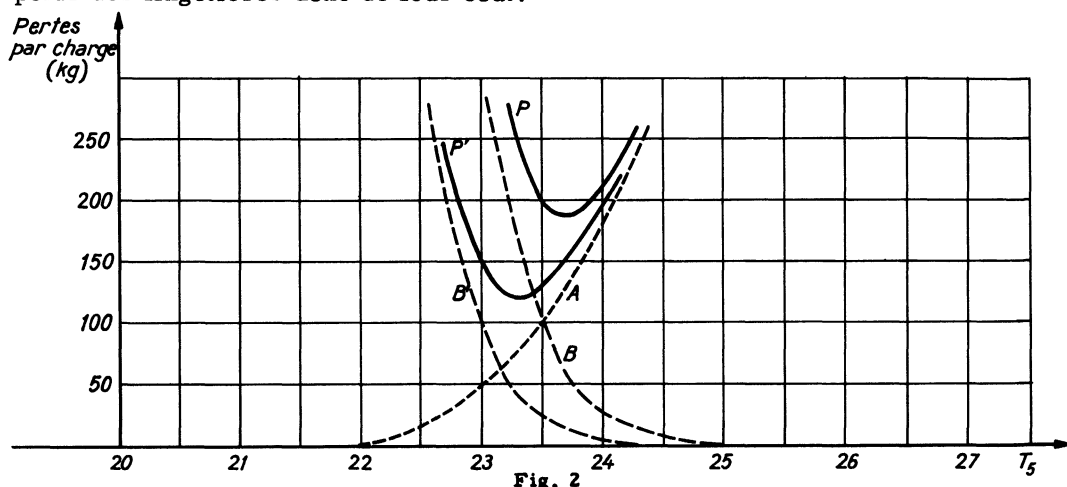


Fig. 2

Sur la figure 2 nous avons porté en pointillé noir la nouvelle courbe B' pour une lingotière de capacité maxima 5,500 t. On en déduit (en trait noir) la courbe P' de la perte totale (la courbe A n'a pas changé).

En réglant les cinq premiers lingots à 23.300 la perte moyenne totale ne sera plus que de 120 kg. On aura ainsi récupéré par rapport au cas précédent 65 kg par coulée.

Cette augmentation de capacité se justifie-t-elle ?

C'est la comparaison des coûts de l'acier récupéré et de la fonte perdue qui l'indiquera. Le calcul fait avec les éléments locaux nous donne des coûts équivalents. Le réglage actuel peut donc être considéré comme correct.

Toutefois, s'il est possible d'avoir deux types de lingotières dont l'un est spécialisé pour le 6ème lingot, le même calcul donne un gros intérêt à l'augmentation des hauteurs.

LINGOTS A POIDS FIXES

Le cas le plus typiques des lingots à poids fixes, est celui des lingots masselottés (*).

Ce cas s'est présenté à nous sous la forme suivante :

Nous avons à déterminer les lingots (entre 10 et 15 t.) capables de prendre au mieux la coulée, dans un type d'acier calmé de fabrication nouvelle (que nous appellerons acier U).

Ayant estimé que les conditions normales d'enfournement nous donneraient environ 27 t. de cet acier par coulée, nous avons adopté une lingotière telle que deux lingots pèsent ensemble 25 t. (disons T2 = 25 t.).

(1) Lingots dans lesquels la partie malsaine à chûter, est concentrée dans une "masselotte". Le poids du lingot et le poids de la masselotte sont fixes. L'acier "calmé" est le type d'acier qui nécessite généralement une masselotte.

LINGOTS MASSELOTES . BILAN METAL

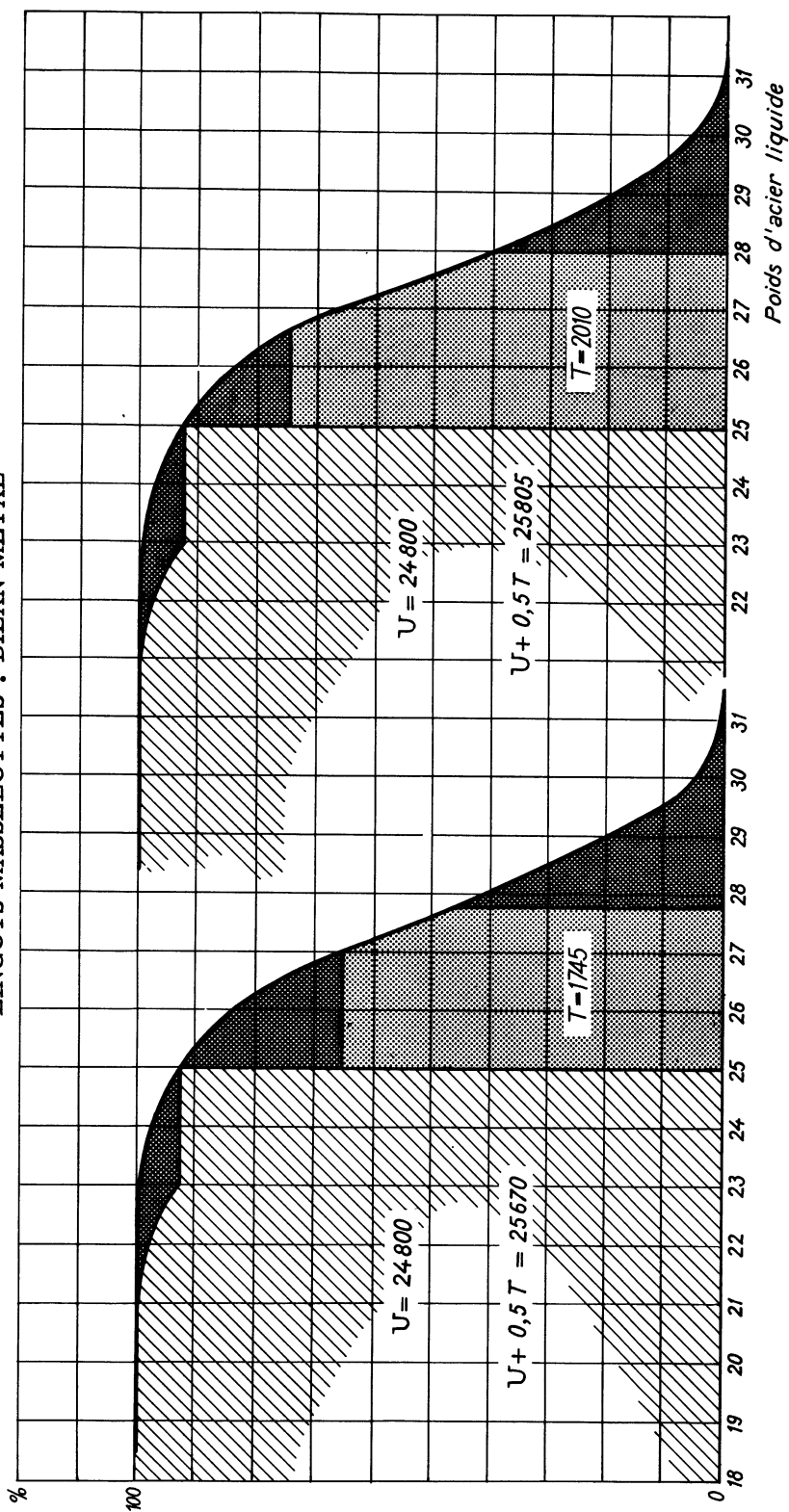


Fig. 3

- Tonnage en qualité visée (U)
- Tonnage déclassé (T)
- Tonnage mitraille

Fig. 4

$T_2 = 25 T$
Changement de lingotières de queue de coulée

Après mise au point de la fabrication de cet acier, les poids d'acier obtenu, en poche, se répartissant suivant la courbe de fréquence de la figure 3. Le poids moyen est 27.500, le poids médian 27.700. La dispersion est importante.

C'est en prévision de cette dispersion élevée, due à la difficulté particulière de cette fabrication, que nous avons choisi un tonnage de base (T2) faible.

Quand le poids d'acier dépasse 25 t., nous disposons d'une petite lingotière donnant un lingot laminable entre 2 t. et 2,8 t. L'acier coulé dans cette lingotière est déclassé en qualité "T".

La figure 3 montre la répartition du métal suivant le tonnage réalisé :

- pour les 28 % de coulées comprises entre 25 et 27 t., on tire 25 t. d'acier U ; le reste est perdu (mitraille).

- pour les 18 % de coulées comprises entre 27 et 27,8 t. la "queue de coulée" est récupérable. On a 25 t. d'acier U, et le reste est déclassé "T".

Au delà de 27,8 t. (47 % des coulées) on a 25 t. d'acier U, 2,8 t. d'acier T et le reste est mitraillé.

En deçà de 25 t. (7 % des coulées) une des masselottes n'est pas pleine. Un certain nombre de relevés ont montré que dans ce cas, on devrait estimer à 2 t. en moyenne la perte par chûtage supplémentaire au laminage. Nous avons donc admis pour ces coulées : 2 t. mitraille, et le reste en qualité "U".

La représentation graphique de ces divers cas détermine sur la figure des surfaces proportionnelles aux tonnages moyens d'acier U, d'acier T et de mitraille. On peut donc faire le "bilan métal" de la coulée en mesurant ces surfaces (ici $1 \text{ mm}^2 = 1 \text{ kg}$)⁽¹⁾.

On trouve que la coulée, de 27.540 kg d'acier liquide donne en définitive 24.800 kg d'acier U, 1.745 kg d'acier T, et 980 kg de mitraille.

Ce résultat paraît bien médiocre ; nous avons examiné les améliorations possibles.

La première idée est d'améliorer la récupération en utilisant une lingotière de queue de coulée bien adaptée. Nous avons donc dessiné et fait fabriquer une lingotière "Q" capable d'un lingot de 1.600 à 3.000 kg. La figure 4 représente le nouveau bilan-métal. Gain réalisé : 265 kg d'acier T.

La différence de valeur entre les qualités U et T est la même qu'entre l'acier T et la mitraille. Le parti tiré du métal liquide, est donc représenté par le "tonnage équivalent" $U + 1/2 T$. Ce tonnage équivalent était de 25.670 kg dans le premier cas, il est passé à 25.800 kg.

Nous avons ensuite examiné cette question :

- Y a-t-il intérêt à changer le poids de base des lingots (T2) ?
- Estimation du gain possible.

La figure 5 représente la variation de la PERTE (total liquide - tonnage équivalent) quand on change la capacité totale des deux lingotières T2.

On trouve que la meilleure capacité T2 est de 26.300 kg. Le tonnage équivalent est alors de 26.200 kg.

En passant de $T2 = 25 \text{ t.}$ à $T2 = 26,3 \text{ t.}$ le gain correspond à 400 kg d'acier U. (fig. 6).⁽¹⁾

LAMINAGE DES LINGOTS

La barre laminée doit être sectionnée pour éliminer en "tête" et en "pied" les parties déformées ou malsaines. Les chûtages nécessaires sont variables d'une barre à l'autre. Nous examinerons un cas où la longueur après chûtage de la barre doit obéir à certaines conditions.

(1) En raison de la réduction due à la production photographique du dessin original, un carreau des figures (3), (4), (6) correspond à 100 mm^2 .

LINGOTS MASSELOTTES

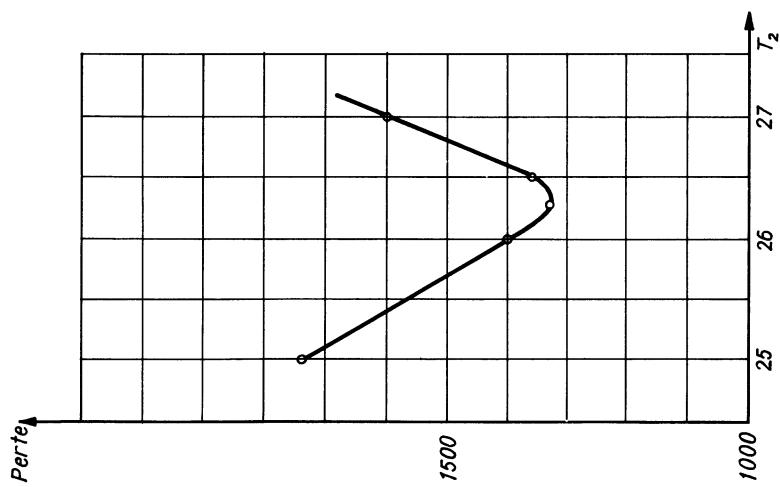


Fig. 5 - Détermination du meilleur "T2"

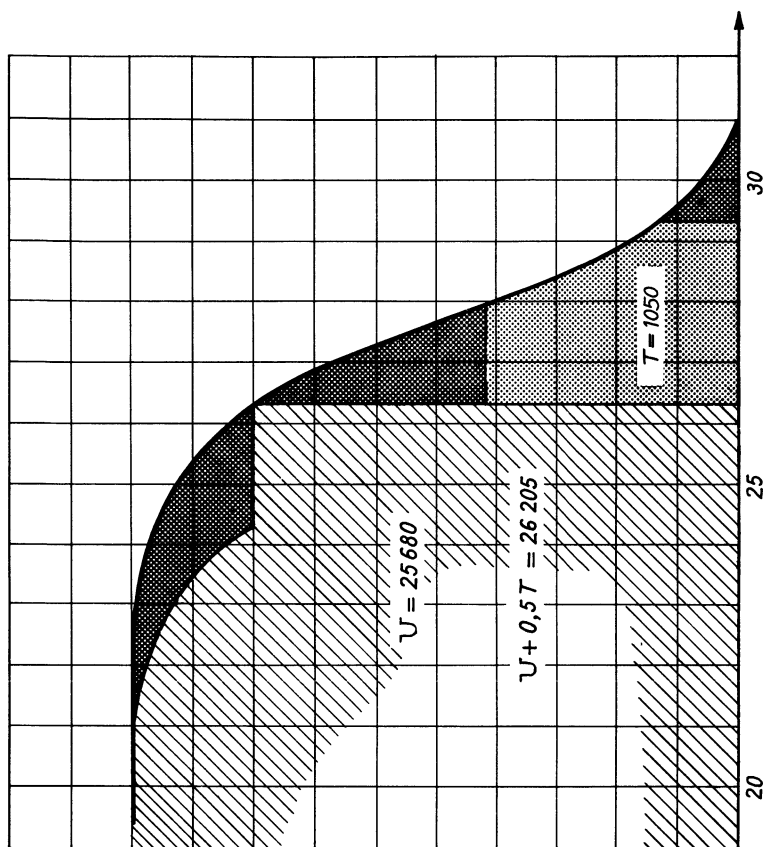


Fig. 6 - Bilan-métal pour $T_2 = 26.300$

Le lingot est laminé en brames qui doivent être ensuite réchauffées dans un four poussant où elles sont enfournées en travers. Cette disposition exige que leur longueur soit toujours comprise entre la largeur du four d'une part soit 5,400 m, et l'écartement des glissières : 4,800 m.

CHÛTAGES

La chute en pied est à peu près constante. Ajoutée à la perte au feu, elle donne un total qui reste toujours voisin de 5 % du poids du lingot.

La chute de tête est beaucoup plus variable. Sa variation est représentée par la courbe de fréquence de la figure 7, obtenue en coupant en tranches minces la chute de tête sur un millier de brames brutes.

LA MISE EN FABRICATION- s'opère comme suit : on admet un chûtage tête théorique qu'on ajoute au chûtage pied. Connaissant le poids du lingot on en déduit le poids de bon métal. La largeur de la brame à laminier étant fixée, on calcule l'épaisseur à lui donner pour que sa longueur soit de 5,400 m, après chûtage théorique.

Il pourra alors se produire divers cas. Ils sont représentés sur la figure 7 où l'on a adopté un chûtage théorique $T = 6 \%$.

- Le chûtage tête réellement nécessaire était inférieur au chûtage théorique ; on devra chûter néanmoins le chûtage théorique pour ne pas dépasser la longueur maximum.

- Le chûtage nécessaire est supérieur au chûtage théorique : on recoupera la barre et deux cas seront encore possibles :

-- Après chûtage nécessaire effectué la barre a encore une longueur supérieure à 4,800, la chute totale sera égale au chûtage nécessaire.

-- La barre a moins de 4,800. On doit alors la recouper jusqu'à une demi-brame de 2,700 m, et la partie recoupée doit être considérée comme perdue. Le chûtage total est alors de 52 % environ.

Que faut-il choisir comme chûtage théorique ?

Dans le cas représenté par la figure d'un chûtage théorique de 6 % on a :

- . 5 % de lingots pour lesquels ce chûtage est suffisant ou excessif.
- . 92 % des lingots pour lesquels ce chûtage ne fait pas perdre de métal,
- . 3 % des lingots pour lesquels on perd une longueur importante du métal sain.

Le chûtage total moyen en tête est représenté par la zone ombrée ($1 \text{ cm}^2 = 0,1$ pour cent de chûtage).

En prenant un autre chûtage théorique, on aura un autre chûtage moyen qu'on mesurera de la même façon.

La figure 8 donne la variation du chûtage moyen tête, suivant le chûtage théorique. On voit que la perte reste à peu près constante pour des châtages théoriques de 7 à 11 %. En dehors de ces chiffres elle croît rapidement.

On prendra 10 % si on veut tirer le maximum de rendement.

On pourra prendre 11 ou 12 % si on accepte de perdre un peu de métal (0,5 % pour $T = 12 \%$) pour diminuer le nombre de coupes supplémentaires de la cisaille (50 % de brames saines dès la première coupe pour $T = 12 \%$ contre 20 % seulement pour $T = 10 \%$).

CHUTAGES des BRAMES

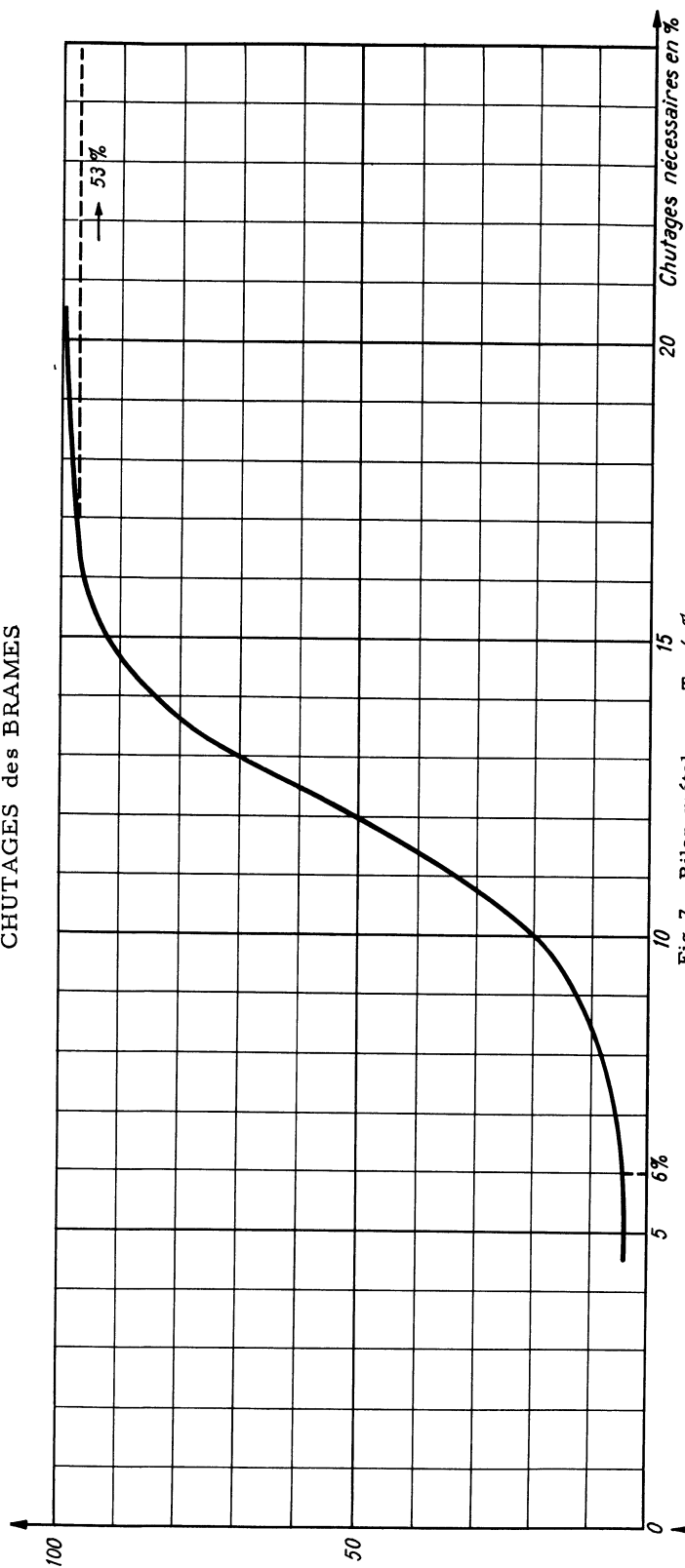


Fig. 7 - Bilan-métal pour T = 6 %

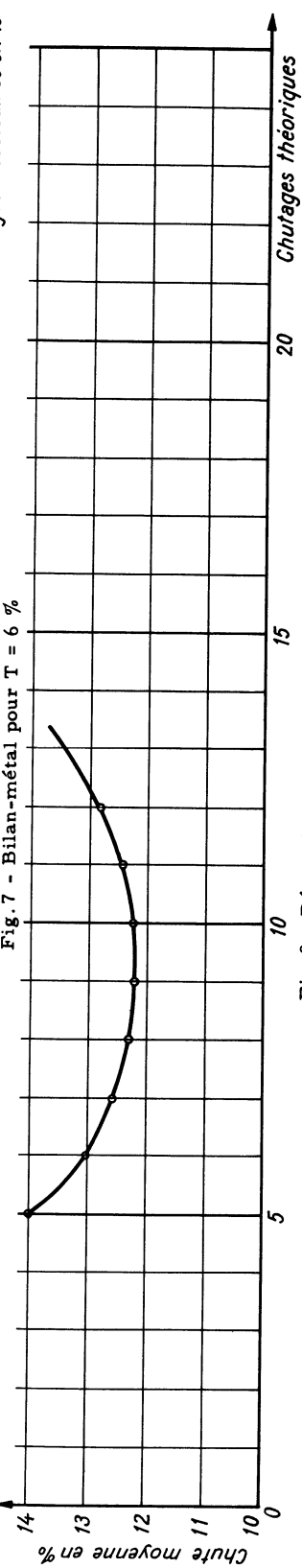


Fig. 8 - Détermination du chûtage théorique

COMMENTAIRE

Une discussion graphique simple sur une courbe de fréquence, permet d'apporter une solution approchée à des problèmes de fabrication.

La précision du résultat n'est pas parfaite. Elle est cependant bien supérieure à celle d'une détermination "au sentiment".

Dans les exemples cités, cette précision ne dépend que de la valeur représentative de la courbe de fréquence. La détermination serait à reprendre si des changements dans les conditions de fabrication modifiaient la courbe de fréquence.

On peut craindre que ces conditions changent sans qu'on s'en aperçoive. La même méthode qui a servi à la détermination de l'élément de base (tonnage lingots, chûtage théorique ...) peut alors servir à son contrôle et permettra d'apporter les corrections s'il y a lieu.