

Expériences de recherche opérationnelle dans un complexe sidérurgique allemand

par H.A. FRICKE (Allemagne)

*Attaché au Service de Statistique Mathématique de la
Dortmund-Hörder Hüttenunion*

Messieurs,

J'aurai le plaisir de vous parler d'un système de programmation conçu par un groupe d'ingénieurs-lamineurs et mathématiciens ayant pour but de déterminer un programme de laminage pour larges plats.

D'abord, on a voulu perfectionner le système de préparation et les tableaux. Ce travail n'a pas causé de difficultés. Les commandes ont été enregistrées par les statisticiens sur des bandes magnétiques. Au moyen de ces bandes et d'un compteur IBM on a pu obtenir les données pour le programme. On était bien tenté d'exécuter aussi le travail fait par les hommes chargés de la préparation du programme. Peu à peu, le programme des calculs a été élargi de façon à ce que le computer prépare tout le programme de laminage.

Je vous donnerai, ci-après, les détails les plus importants de la marche du laminoir en question, lesquels vous aideront à comprendre le type de programme adopté par nous.

Les larges plats sont des produits ayant une section rectangulaire. L'épaisseur est de 5 à 100 millimètres. La largeur est de 151 à 1000 millimètres environ. La longueur est de 2 à 30 mètres. Les nuances de qualité et les sections sont très différentes. Parmi 2000 parties de commandes présentées pendant un mois, il y en a 950 dont la section et la nuance de qualité sont différentes. Etant donné cette situation, il est impossible d'exécuter les commandes en prélevant les produits du stock, composé de toutes les qualités et sections courantes. Il faut donc établir un programme de production en accord avec les diverses commandes. D'autre part, ce programme doit permettre de réduire au minimum la perte due à l'éboutage et au découpage, le temps de stockage et les heures de travail par rapport à la totalité de la commande.

La figure n° 1 montre le schéma de la marche de production. D'abord les lingots sont transformés en blooms ou brames (voir la première ligne). Ensuite les blooms et les brames sont éboutés (voir la deuxième ligne). Les bouts ne peuvent pas être utilisés. Les ébauches obtenus d'un lingot ont la même

section. La longueur, au contraire, peut être différente. Le premier laminage est fait dans des laminoirs différents selon les dimensions des ébauches exigées.

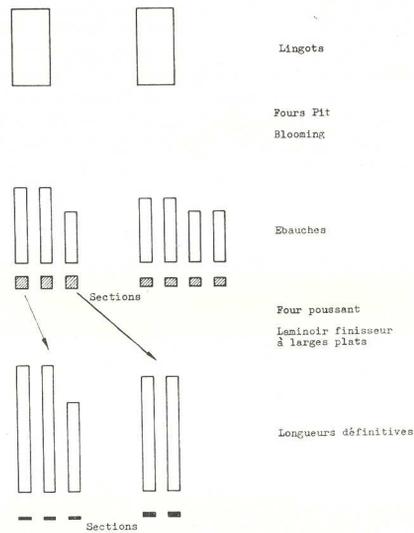


Fig. 1. — Marche de production. Schéma.

Permettez-moi d'ajouter quelques mots sur le laminage dans le laminoir à larges plats. Les ébauches sont rechauffées jusqu'à la température de laminage dans son four poussant. Cela exige un certain temps selon les dimensions des ébauches. La capacité limitée du four peut causer des difficultés. Le produit fini est découpé conformément aux longueurs indiquées dans la commande. Etant donné que les bouts des pièces laminées n'ont pas de dimensions exactes, il faut couper les bouts qui peuvent être de 1 à 2 mètres de long selon la section. Quelquefois, les bouts coupés sont plus longs parce qu'il faut fournir exactement la longueur prescrite par le client. Dans le laminoir finisseur, on

peut obtenir diverses sections finales des ébauches d'une même section. Cela est très important.

Je viens de vous donner un aperçu de la marche de laminage. Or, quand on veut établir le programme de laminage, il faut renverser l'ordre de travail parce qu'au commencement, on ne dispose que des données indiquées dans la commande. Il faut déterminer les dimensions des ébauches à l'aide des longueurs prescrites par le client. Nous appelons cela « l'intégration de l'ensemble des lingots ». Il est fréquemment nécessaire de combiner plusieurs parties de commandes, de plusieurs commandes. Quand il s'agit de parties de commandes de clients différents, il faut prévoir une place au stock pour chaque client. En même temps, il faut veiller à ce que les parties restantes de la commande du client en question, soient laminées aussitôt que possible. Il sera donc nécessaire de faire de nouvelles combinaisons.

La programmation, au moyen du computer évite cet inconvénient. Aussitôt que le service de vente donne l'ordre de programmer le laminage, les commandes sont réparties sur des périodes de laminage dont chacune comprend environ 800 tonnes. On ne combine que les parties d'une même période de laminage pour déterminer les dimensions des ébauches ou des lingots. Tous les produits laminés qui doivent être finis en même temps rentrent dans une même période de laminage. Cela concerne les commandes pour lesquelles des délais précis ont été prescrits. Cela concerne aussi les commandes dont les qualités ne sont disponibles qu'à certaines dates. Il s'agit donc de commandes qui ne permettent pas de livraisons partielles. Les commandes qui manquent de prescriptions spéciales sont combinées avec d'autres commandes de composition semblable.

Permettez-moi de vous parler brièvement de l'intégration des périodes de laminage. A titre d'explication, je vais citer deux exemples très simples (voir la figure n° 2). Un client a commandé douze pièces d'une longueur de 7 m et d'une section de 180 x 30 millimètres.

L'intégration de la longueur peut être faite de deux façons, à savoir : on peut prendre 3 ébauches, de 4 longueurs, ou 4 ébauches de 3 longueurs. Dans les deux cas, nous obtiendrons 12 longueurs. Il est mieux de choisir la première alternative parce que d'une part, 3 ébauches causent moins de perte due au découpage et, d'autre part, le laminage de 3 ébauches peut être effectué plus rapidement.

L'intégration des lingots est facile dans ce cas. Les 3 ébauches peuvent être obtenues d'un seul lingot de dimensions moyennes. Une commande de 5 pièces, avec les mêmes dimensions, ne conviendrait pas dans le cas en question, parce que la cage finisseuse ne peut laminier que des pièces jusqu'à 33 m

de long. Il faudrait donc produire deux pièces d'une longueur plus courte. Cela impliquerait une perte assez grande due au découpage et un temps de laminage plus long. En plus, le lingot ne serait utilisé qu'à moitié. Dans ce cas, on tâcherait d'y joindre une ou plusieurs parties de la même qualité et de la même section d'une autre commande afin d'utiliser entièrement le lingot. Si cela n'est pas possible, on s'efforcera d'utiliser mieux le lingot. Généralement, cela est possible, parce qu'on peut obtenir des produits finis ayant des dimensions diverses des ébauches d'une même section.

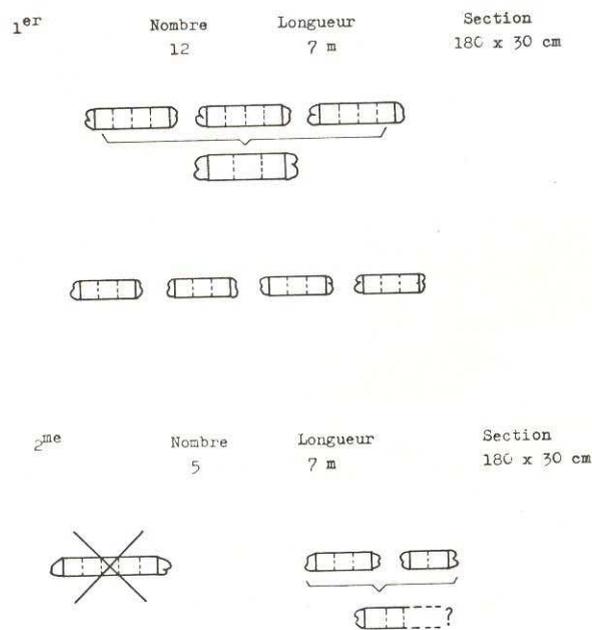


Fig. 2. — Exemples de l'intégration.

En principe, quand on examine toutes les commandes présentant des produits d'une même qualité, on peut constater qu'il y a un grand nombre de combinaisons possibles.

Nous nous trouvons donc en face d'un problème typique de recherche opérationnelle comparable avec le système de programmation linéaire. Dans les deux cas, nous avons généralement un grand nombre de combinaisons possibles. Nous allons choisir une solution optimale, à l'aide d'une fonction d'évaluation.

Le procédé idéal, permettant de trouver la solution, n'existe pas dans notre cas. D'autre part, il est pratiquement impossible de calculer toutes les combinaisons possibles d'une période de laminage. Il faudrait des années pour exécuter ce travail, même au moyen d'un computer. Je tiens à attirer votre attention sur le fait que la marche du service ne s'accorde jamais avec le programme établi. Les variations peuvent être de nature suivante : différence de poids des lingots, défauts du matériau, défauts de laminage, erreurs, confusions, etc. Il en résulte que les combinaisons compliquées sont tellement déréglées qu'elles n'offrent qu'un intérêt théorique.

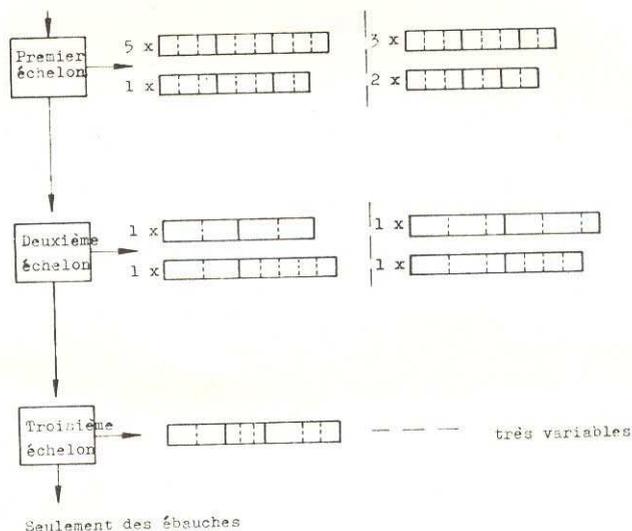


Fig. 3. — Intégration à trois échelons.
Exemples de l'intégration des lingots et des ébauches.

L'objet du programme est de trouver des solutions simples et pratiques. D'abord, on se base sur une commande idéale fictive, composée de beaucoup de longueurs d'un mètre, par rapport à chaque section. Ce calcul montre quelles longueurs et sections des ébauches peuvent être utilisées. On trouvera une combinaison qui implique une quantité de pertes dues à l'éboutage et aux découpages et un temps déterminé de laminage et de réchauffage. Ces valeurs déterminées pour le cas idéal seront la mesure pour les cas réels. La figure n° 3 montre le schéma d'une combinaison réelle qui est réalisée en 3 échelons. Au premier échelon, on combine chaque groupe de commandes présentant exactement les mêmes dimensions. La meilleure solution sera comparée

avec la solution idéale. Si la dépense (éboutage, découpage, temps de laminage et réchauffage), n'est pas supérieure à 15% à celle de la solution idéale, la solution trouvée est considérée comme satisfaisante.

Au premier échelon, on ne cherche que des solutions basées sur deux types de lingots et d'ébauches. Le côté droit de la figure n° 3 montre 2 possibilités. Le reste, c'est-à-dire, moins de 30% de toutes les parties des commandes, rentre dans le deuxième échelon où l'on combine en deux les parties d'une même section, mais de longueurs différentes. On cherche toutes les combinaisons possibles, en les évaluant par rapport à la dépense respective. Pour réduire au minimum la dépense totale, on choisit les combinaisons les plus favorables, en se servant d'une méthode très simple qui est semblable à la méthode adoptée pour la solution du « assignment problem ». Au deuxième échelon, deux parties de commandes combinées, doivent également être obtenues de deux types de lingots et d'ébauches au maximum. Ici aussi, la dépense ne doit pas dépasser de 15% celle de la solution idéale. Environ 10% des commandes ne peuvent pas rentrer dans le deuxième échelon parce que souvent il y a seulement une commande présentant des produits d'une section déterminée.

Au troisième échelon, on tâchera d'arriver à une intégration des lingots, sur la base du reste des parties des commandes d'une largeur semblable. Ici, une dépense supplémentaire moyenne de 20% est permise. Dans des cas très désavantageux, le personnel chargé de l'exécution du programme de laminage détermine les dimensions des ébauches. Le troisième échelon n'a pas encore été mis au point.

Vous me demanderez si la programmation mécanique donne des résultats pratiques.

La figure n° 4 montre la comparaison entre la détermination du poids des ébauches faites manuellement et au moyen du computer pour 60 commandes choisies au hasard. On peut constater que dans 32 cas, les deux systèmes donnent les mêmes résultats. Dans 28 cas, le poids des lingots déterminé au moyen du computer est plus grand. Il s'ensuit que l'on dispose d'un nombre inférieur d'ébauches pour les commandes. Cela aboutit à une économie, à savoir que la perte due au coupage des bouts des pièces laminées diminue de 16% et le temps de laminage aux cages finisseuses diminue de 11%.

Le poids supérieur des ébauches est obtenu principalement grâce aux longueurs supérieures. On peut réchauffer des ébauches d'une longueur de 3,50 mètres dans les fours dont la capacité n'a pas toujours été totalement utilisée. La cage ne permet pas l'emploi des ébauches d'une largeur supérieure

de 2 centimètres par rapport à celle du produit fini. L'épaisseur, au contraire, est au moins de 8 centimètres plus grande que celle du produit fini. Cela permet le laminage de pièces à dimensions exactes. On pourrait utiliser des ébauches d'une épaisseur plus grande, mais il faudrait procéder avec prudence.

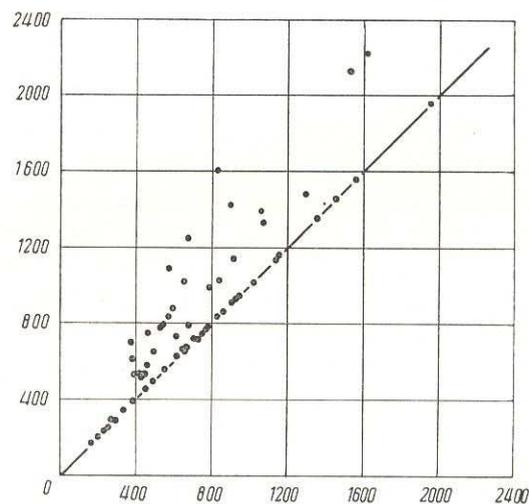


Fig. 4. — Comparaison entre le poids des ébauches déterminés manuellement et au moyen du computer. L'ordonnée représente la détermination manuelle. L'abscisse représente la détermination au moyen du computer.

La figure n° 5 montre l'influence de l'épaisseur des ébauches sur le façonnage des ébauches d'une longueur maximale de 3,50 mètres.

La courbe A montre que le temps de laminage, par tonne de produit fini, diminue au fur et à mesure que l'épaisseur des ébauches augmente. La courbe B montre que la perte due au coupage des bouts diminue aussi à cause de la diminution du nombre des pièces laminées. D'autre part, la courbe C montre que le tonnage des ébauches fourni par le four, par unité de temps, diminue au fur et à mesure que l'épaisseur des ébauches augmente.

Le four poussant n'est pas capable de fournir le tonnage nécessaire pour utiliser totalement la capacité du laminoir dans le cas où l'épaisseur des ébauches est trop grande. Pour cette raison, la programmation manuelle implique forcément des interruptions de laminage. Cela arrive rarement avec la programmation mécanique qui choisit des épaisseurs optimales, à l'aide de la courbe D dont le minimum indique une compensation entre les avantages et les désavantages de toutes les épaisseurs.

Les valeurs α , β et γ peuvent être modifiées de programme en programme. La détermination de la valeur β permet de constater si le but principal est d'obtenir une grande production ou de réduire la perte due à l'éboutage et au découpage. L'utilisation de la capacité du laminoir et du four varie conformément aux diverses commandes, mais les valeurs α et γ permettent d'atteindre une utilisation moyenne des capacités.

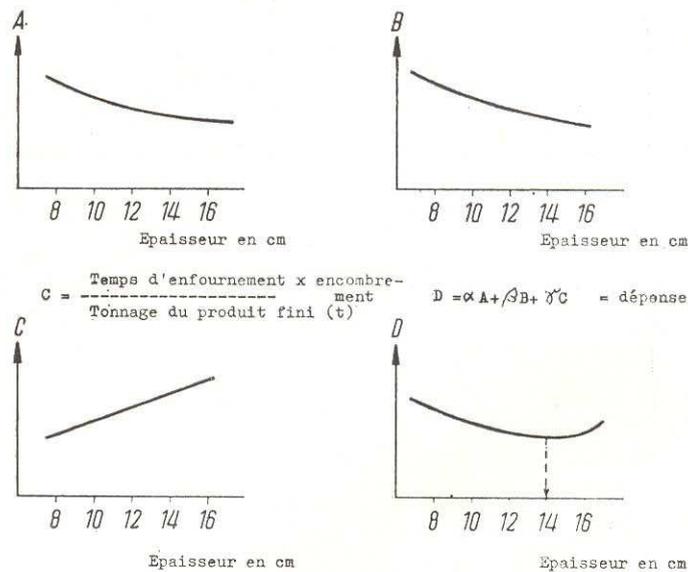


Fig. 5. — Détermination de l'épaisseur des ébauches.

$$A = \frac{\text{Temps de laminage}}{\text{Tonnage du produit fini (t)}}$$

$$B = \frac{\text{Bouts tombants}}{\text{Tonnage du produit fini (t)}}$$

La suite chronologique du laminage n'est pas déterminée par le programme. D'autre part, il ne serait pas avantageux de fixer un plan chronologique pour plusieurs semaines, parce que dans ce cas, le laminoir à larges plats, ne pourrait marcher que si tous les demi-produits étaient disponibles pour une période de laminage. La fourniture n'est pas toujours régulière.

Je vais aborder le dernier problème, à savoir la détermination du poids des lingots à utiliser (voir la figure n° 6). Il n'est pas possible de prédire le poids utilisable d'un lingot. Les poids des coulées varient et les chutes de lingots varient aussi. Un examen de la statistique nous sera utile. La courbe A

montre — quoique d'une manière un peu exagérée — la fréquence du rendement. Il est nécessaire de déterminer le poids des lingots pour la programmation.

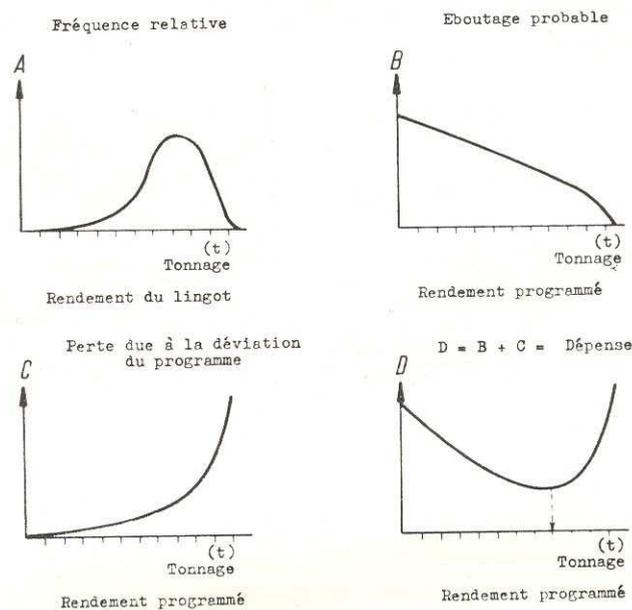


Fig. 6.

Nous nous trouvons en face de deux risques. Le lingot produit peut être plus grand que le lingot programmé. La courbe B montre la grandeur du premier risque. Dans ce cas, il y aurait beaucoup de perte due à l'éboutage. On peut calculer facilement la chute correspondant à chaque poids fixé dans le programme. Le lingot peut être plus petit. Dans ce cas, il faudrait s'efforcer d'obtenir toutes les ébauches nécessaires. La courbe C montre la grandeur de cet inconvénient. Le risque augmente au fur et à mesure que le poids fixé dans le programme augmente. La courbe D montre le compromis entre les deux risques. Le minimum représente le poids le plus favorable pour la programmation.

En réalité on lamine successivement plusieurs lingots. De cette manière on parvient à compenser quelquefois les risques. Ce fait est pris en considération dans le programme.

Cet aperçu vous donnera une idée du système de sélection du programme. La solution idéale est le principe servant de règle pour arriver à des combinaisons dont chacune correspond à certaines variables qui ne doivent pas être considérées séparément par rapport aux lingots et aux ébauches, comme je viens de le faire pour simplifier les explications. Les dimensions des lingots et des ébauches, ne sont pas indépendantes les unes des autres. Pour cette raison, on choisit une combinaison entre les cas admis avec un minimum de dépense.

La solution choisie par nous sera-t-elle la solution idéale? J'en doute. Mais elle est pratique parce qu'elle prend en considération les facteurs les plus importants. Il sera évidemment possible de perfectionner le système aussitôt que l'on parviendra à contrôler mieux les défauts de stabilité. Cela veut dire qu'il faudra remplacer les prédictions statistiques par des mesures continues dans l'usine.

De cette façon, on pourrait parvenir à une programmation simultanée permettant de réagir rapidement et avec succès en cas d'une déviation de la marche de production prévue. Il est vrai qu'un tel système exigerait un placement de fonds considérables.