

**Principes généraux de l'organisation  
systématique des machines et des usines**

*D. M Verheve - Professeur  
Chaire de Technologie Chimique  
Université de Mons - Hainaut*

*Ce qui manque le plus dans la pratique industrielle, c'est moins la connaissance des techniques particulières, d'ailleurs indispensables, que celles des principes généraux permettant aux ingénieurs de juger rapidement et sûrement les machines ou les installations d'usines qu'ils ont à contrôler et par là d'arriver à en améliorer le rendement*

Emile BELOT

## INTRODUCTION

Henri LE CHATELIER (1850-1936) dénonça l'empirisme qui guidait l'évolution industrielle et déclara qu'**aucun progrès industriel ne peut être obtenu sans l'application de la méthode expérimentale**, c'est-à-dire scientifique.

Emile BELOT dénonce, dès 1918, les erreurs de TAYLOR (Principles of Scientific Management - traduction française par H. LE CHATELIER, Paris, 1912) qui procède souvent en admettant la réciproque comme vraie.

*"Taylor a étudié le transport et le chargement à bras de gueuses de fonte faits par une équipe de 70 ouvriers, dont il dit qu'ils ressemblaient plutôt à des boeufs qu'à des hommes : il est arrivé après expérimentation à augmenter notablement leur production et à la porter à 47 tonnes par jour.*

*Le problème industriel ne consiste pas à se dire : Quel est le rendement maximum qu'on peut tirer d'hommes-bovidés qui sont probablement plus entêtés que des mulets ? Il se pose ainsi : Quel est le moyen **humain ou mécanique** qui permet de résoudre avec le meilleur rendement et le plus vite possible le problème du déchargement et du transport de gueuses de fonte ? Or un appareil de levage électro-magnétique sur rails aurait permis dans les conditions citées d'élever à 300 tonnes par jour le rendement avec un personnel très réduit".*

TAYLOR néglige la matière et ses résidus pour ne s'occuper que de la main-d'oeuvre. Si TAYLOR a cherché à **mécaniser l'ouvrier**, BELOT a cherché à **enlever à l'ouvrier le travail mécanisable**, et ce d'autant plus si ce travail est inintelligent, antihygiénique et pénible.

## PRINCIPES

L'unité de fabrication doit être déterminée quant à ses dimensions, son implantation, sa vitesse de production et, par voie de conséquence, son rendement économique.

Une méthode synthétique (préconisée par BELOT) sera plus simple, plus générale et plus efficace (car beaucoup mieux admise par le personnel) qu'une méthode analytique (préconisée par TAYLOR).

*"On parle beaucoup de l'approche systémique. On la compare et parfois on*

*l'oppose à l'approche analytique. Or ces deux approches sont complémentaires. L'approche analytique isole les éléments et les variables d'un système pour mieux le comprendre, tandis que l'approche systématique relie les faits ainsi obtenus dans un ensemble cohérent et organise les connaissances en vue d'une plus grande efficacité de l'action."* (J. DE ROSNAY dans J. BERNARD et M. PAKER, Macroscopie de l'entreprise systématique appliquée, Les Editions d'Organisation, Paris, 1980).

La méthode de BELOT se fonde sur deux grands principes.

### 1 - Le principe de la continuité

**"Dans toute machine, usine ou industrie, toute discontinuité dans la vitesse de circulation des matières mises en oeuvre correspond à une diminution dans le rendement industriel qui peut se mesurer par la variation de vitesse de circulation".**

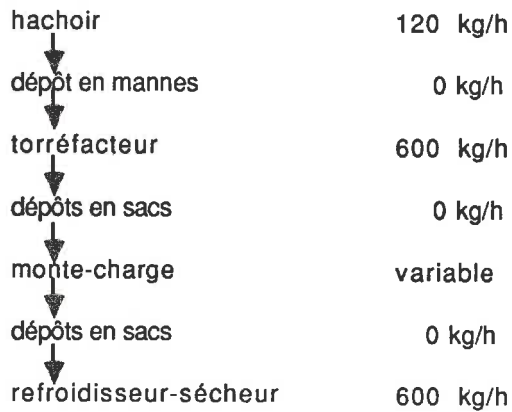
Toute machine, toute usine ou toute industrie est caractérisée par la circulation d'une ou plusieurs matières s'y transformant. L'assimilation des matières à un liquide et de la machine (usine, industrie) à une tuyauterie permet de saisir toute la véracité du principe de la continuité.

Le rendement augmente en proportion du nombre de mécanismes à mouvement continu et diminue en proportion du nombre de mécanismes à mouvement discontinu. Citons, à titre d'illustration, la coulée continue remplaçant la coulée par poches, l'alimentation des rotatives d'imprimerie au moyen d'un rouleau de papier plutôt qu'au moyen de feuilles.

Il existe toutefois, pour un débit donné, une vitesse optimale. Un même débit peut être réalisé sur une ligne (avec comme conséquence une réduction des coûts selon la loi d'économie d'échelle) ou sur plusieurs lignes (inévitavelmente plus coûteuses) évitant toute discontinuité (risque lorsque l'on opère sur une seule ligne).

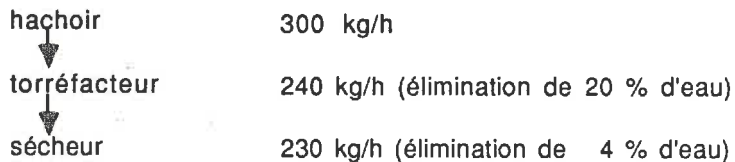
Pour illustrer le concept de vitesse optimale, BELOT analyse un circuit de fabrication de tabac comprenant un hachoir, un torrificateur, un monte-charge, un sécheur et des dépôts en mannes et en sacs entre les appareils (pour BELOT, la production horaire -ou vitesse- est nulle pour un stockage).

Le schéma initial est représenté à la figure suivante :



*"Il faut déterminer la vitesse optimum du cycle, de telle manière qu'elle corresponde à la même quantité de matière travaillée dans les divers appareils traversés."*

La quantité normale que l'on peut charger au hachoir est de 300 kg/h. Un hachoir à grande production horaire (300 kg/h) s'avère un investissement rationnel ; le torréfacteur et le sécheur sont choisis au prorata. Les dépôts intermédiaires sont supprimés et le nouveau circuit est représenté à la figure ci-dessous :



Antérieurement, il fallait accumuler en mannes six heures de la production du hachoir pour charger le torrificateur et le sécheur dont le fonctionnement se limitait à une heure. Si l'on produisait des tabacs différents (que l'on ne peut mélanger pour la torrification), on devait les accumuler dans des dépôts différents.

Cet exemple illustre bien l'intérêt et le gain en investissement à la suite de l'application du principe de continuité. La technologie de groupe (non envisagée par BELOT) apparaît comme une autre application de ce même principe.

Un second principe peut être énoncé.

## **2 - Le principe de la vitesse optimum et du débit moyen maximum.**

**"Dans une machine ou dans une usine, les dimensions et vitesses des cycles mécaniques utilisés seront déterminées par la vitesse optimum des matières à traiter et le nombre de ces cycles par le débit moyen maximum à réaliser."**

Avec un vocabulaire différent, les analystes systémiques appliquent ces deux principes. Ils parlent de débits (ou de flux) au niveau d'effecteurs et cherchent l'équilibre des flux. Ils tiennent compte des fluctuations de débit de chaque effecteur. Les longueurs séparant les effecteurs sont courtes si les effecteurs fonctionnent à débits constants et égaux ; elles seront longues si les effecteurs fonctionnent à débits fluctuants. Il existe un volume optimum d'en-cours ; un volume faible (économiquement intéressant) rend la conduite délicate et le système vulnérable pour un fonctionnement tendu, alors qu'un grand volume d'en-cours qui facilite la conduite est coûteux. Le travail en une ou plusieurs lignes répond aussi à la définition d'un système économiquement acceptable et à vulnérabilité réduite ; les principes de BELOT guident la recherche de ce compromis.

### **METHODE**

Les deux précédents principes peuvent guider autant l'inventeur de machines que le dirigeant d'entreprise (ce dernier ne doit pas forcément avoir des connaissances techniques approfondies).

Le principe de continuité fait également prendre conscience à BELOT qu'il y a augmentation du rendement industriel quand les déchets sont produits au commencement plutôt qu'à la fin du traitement des matières. Cela est vrai en entreprise au même titre que cette pratique est évidente lorsque l'on abandonne en forêt l'écorce et l'aubier avant le transport des billes équarries ou lorsque l'on sépare le stérile du minerai sur son gisement.

Citons BELOT :

*"Prenons l'exemple du débitage de billes de bois pour les transformer en planchettes minces destinées aux coffrets de cigares. Dans le procédé le plus ancien, encore partiellement en usage, on débite la bille en madriers d'épaisseur convenable qui sont refendus au moyen de scies spéciales en feuillets qu'une raboteuse mécanique travaille sur les deux faces. **A priori** un tel procédé est très défectueux puisque, d'après le principe de continuité, la matière est deux fois stagnante entre trois appareils mécaniques et qu'au passage dans chacun d'eux, le bois abandonne un déchet (sciure et copeaux) qui doit être considéré comme une matière étrangère encombrant le circuit ; or ici le déchet atteint en poids 40 % puisqu'il faut, dans le madrier, prendre une épaisseur de 6 mn pour obtenir, après sciage et rabotage sur les deux faces, un feuillet raboté de 3,5 mn d'épaisseur.*

*La méthode expérimentale appliquée à ce problème complexe aurait consisté à en étudier les multiples facteurs : rôle des scies (à bois montant ou scies multiples circulaires), de leur denture en vue de diminuer la voie et la perte par la sciure, de leur vitesse ; rôle de l'agencement et des transports entre ces appareils. Mais tout ce travail d'expérimentation aurait tout au plus aboutit à une diminution de 5 à 10 % du déchet de bois ; il n'aurait pas annulé les 40 % de déchet qui entachent d'un vice fondamental ce procédé. Il fallait en inventer un autre utilisant **tout le bois** d'une bille, comme on le fait par le **tranchage** vertical : dans une trancheuse de ce genre, la bille équarrie est placée sur un plateau à griffes qui avance à chaque coupe de 3,5 mn, tandis qu'un couteau de 1,8 m de long descend verticalement en cisillant la bille. Le seul résidu du tranchage est une planche d'environ 0,03 mn d'épaisseur, très utilisable pour des travaux de menuiserie. Ainsi, non seulement tout le bois est utilisé, mais la main-d'oeuvre très simplifiée."*

La méthodologie préconisée par BELOT aborde le travail industriel en distinguant les facteurs d'organisation des facteurs de production et en définissant en première priorité les directives synthétiques sur base des deux principes.

Reprenons un exemple développé par BELOT pour illustrer une application du principe de continuité à des travaux essentiellement discontinus. Il s'agit du garnissage d'un coffret de cigares par du papier sur les arêtes extérieures et sur la surface intérieure. Le prix de revient d'une telle opération comprend la valeur du papier (proportionnelle à la surface appliquée) et la main-d'oeuvre proportionnelle au nombre de morceaux de papier (il s'agit du nombre de discontinuités que le principe de continuité doit réduire) et à la longueur à appliquer. BELOT précise l'emploi d'une bande large à appliquer une seule fois (remplaçant l'emploi d'une bande étroite à appliquer en faisant deux fois le tour du coffret). Le gain au niveau de la main-d'oeuvre est six fois plus élevé que la perte engendrée par l'augmentation de la valeur du papier.

BELOT se focalise, sans le dire explicitement, dans la production en série, sur la "mise en fabrication en série", comme le fait S. SHINGO et pour qui cette dimension mérite peut-être plus d'attention que la "production en série suivant commande" (S. SHINGO, Le système SMED - Une révolution en gestion de production, Les Editions d'Organisation, Paris, 1987).

### RENDEMENT

Le rendement défini par BELOT est le rapport du poids traité journalièrement aux frais de ce traitement.

$$R = \frac{M \cdot H}{\sum_1^n n \cdot s \cdot H + A1H + A2}$$

ou

$$R = \frac{M}{\sum_1^n n \cdot s \cdot H + A1 + A2/H}$$

avec

- R : rendement économique
- M : poids traité pendant une heure
- H : nombre d'étapes de marche par jour
- N : nombre d'étapes dans l'usine
- n : nombre d'ouvriers par étape
- s : salaire horaire
- A1 : frais variables
- A2 : frais fixes

L'emploi de cette formule permet de prendre conscience du rôle important que jouent le nombre d'étapes et les frais variables.

Le terme (  $\sum n \cdot s$  ) est souvent l'objet d'un effort intense d'amélioration (cf. la taylorisme) pas toujours tangible au niveau de R car :

- si n diminue, s peut augmenter,
- si n et H diminuent, la diminution du poste "salaires" est atténuée par l'augmentation du terme (A2/H).

La dernière remarque fait prendre conscience que le rendement économique est limité lorsque l'équipement est utilisé seulement 8 heures par jour. L'emploi du rendement économique est aisé, mais opérant là où la comptabilité analytique par centres de profit s'obstine à observer des coûts directs ayant totalement perdu leur signification dans l'entreprise moderne confrontée surtout à des coûts indirects.

## OUVERTURE

Pour l'ingénieur de manufacture, il s'agit de principes et d'une méthode particulièrement pertinents présentés par BELOT dès 1911 et non encore adoptés totalement.

Pour un chimiste habitué au travail en continu, les deux principes et la méthodologie de BELOT sont assez bien intégrés à l'ingénierie de procédés même si le nom de BELOT lui est inconnu.

L'approche classique, encore trop utilisée, consiste à réduire la complexité en un certain nombre d'éléments sur lesquels l'ingénieur se focalise en quête d'améliorations. La balkanisation des usines est un sous-produit du taylorisme. Le découpage en fonctions, métiers et sections spécialisées conduit à assimiler l'optimum global d'un système à la somme des optimums de ses parties.

BELOT nous invite à considérer la complexité dans sa totalité en cherchant à comprendre les interactions, les évolutions et les régulations. L'ingénieur système a un rôle essentiel. La "systématique" de BELOT n'est rien d'autre que l'approche systémique (nouvelle époque, nouveau vocabulaire !). Il faut revenir au professionnalisme industriel en sortant de son bureau pour se rendre dans l'atelier et donner l'importance nécessaire aux opérationnels. La synthèse qui ne se fait qu'en haut -l'Etat-major- est sans valeur (faute d'être dépendante de la réalité) et



sans objet (faute d'être appliquée). Le "management avec les yeux" (cher à TAIICHI OHNO, L'esprit Toyota, Masson, 1986) doit reprendre la place qu'il mérite au sein de l'atelier, de l'entreprise. Le génie mécanique doit reprendre la première place qu'il avait cédée au génie informatique.

BELOT est un précurseur de la "nouvelle école de gestion de production" (se différenciant de l'école classique de TAYLOR et de FORD) dont on attribue souvent la paternité aux seuls Japonais.

## BIBLIOGRAPHIE

Emile BELOT (ingénieur de l'Ecole Polytechnique, Directeur des Manufactures de l'Etat)

- a - Principes généraux de l'organisation systématique des machines et des usines, La technique moderne, III, n° 10, octobre 1911, pp. 547-550 et La technique moderne IV, n° 4, avril 1918, pp. 453-459.
- b - La fabrication actuelle du tabac à fumer dans les manufactures nationales, La technique moderne XV, n° 15, août 1928, pp. 449-455.
- c - Les nouvelles applications du principe de continuité - Quelques exemples de fabrication continue considérés du point de vue de leur adaptation à d'autres fabrications industrielles, La technique moderne, XVII, n° 19, octobre 1925, pp. 577-582.