

Les nouvelles organisations productives

Hubert Mulkens

Professeur

*Laboratoire de Gestion de la Production
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*

Résumé

Ces dernières vingt années ont été fertiles en réflexions sur les modes de production et leur gestion. Nous proposons une approche synthétique dont il ressort que les modes de production du futur ne seront plus ni MRP ni même flux tirés mais bien flux poussés ou production synchrone, encore que ce dernier mode sera sensiblement différent du mode JAT actuel dont il est l'évolution.

Introduction : typologie de la production

La typologie des systèmes de fabrication a fait l'objet de nombreux travaux depuis les premières analyses de Joan Woodward dans les années cinquante (1). On peut cependant résumer ces travaux en notant que les principaux modes de fabrication sont :

- *la production de masse*, d'objets fabriqués et/ou assemblés avec peu ou pas de variantes ; cela correspond à la fabrication de la plupart des biens de consommation, de la production automobile "à la Ford", dans les années trente, à la production d'ampoules d'éclairage,... Dans ce type de production, l'emploi d'un système de fabrication dédié, permet d'arriver à réduire les coûts de fabrication par objet : le système est très productif mais peu flexible. Il y a une très forte internalité de l'information de fabrication qui est préparée par un bureau d'industrialisation important : machines, posages et outillages dédiés, automatismes figés, gestes répétitifs, ...

- *la production en petite série* d'objets fabriqués et/ou assemblés avec un grand nombre de variantes et d'options : cela correspond à la fabrication de la plupart des biens d'investissements, des machines,... Dans ce type de production, l'emploi d'un système de fabrication polyvalent, permet de fabriquer toutes les pièces nécessaires : le système est très flexible mais relativement peu productif ; on cherchera à produire par lots pour récupérer un peu de productivité. Il y a une très forte externalité de l'information de fabrication dans ce type de système ; elle est préparée par un bureau des méthodes : bandes CNC, plans, consignes, tours de main.

- *la production unitaire* d'objets complexes comme la construction d'un pétrolier ou la construction d'un immeuble, où plusieurs

ressources doivent intervenir simultanément ou séquentiellement selon un plan précis minimisant en général les coûts et le temps,

- *la production continue*, comme le raffinage, l'épuration d'eau,... faite en lots ou réellement continue et qui nécessite des installations de production dédiées.

Dans cet article nous nous intéressons principalement aux deux premiers modes, en notant les évolutions perceptibles ces dernières années (9) :

- pour certains produits de consommation, la production se fait en séries de plus en plus courtes avec un remplacement régulier de modèles anciens par de nouveaux modèles, ce qui implique une tendance à la modularisation des produits. Ceci permet par exemple le réemploi de pièces et de composants sans que l'aspect "nouveau" du produit en soit affecté, ce qui va permettre de limiter la reconstruction nécessaire d'une partie de la chaîne de fabrication.

- la production de masse de produits indifférenciés perd en importance au profit d'une production en grandes séries de produits dont la variabilité augmente ; par exemple, la fabrication automobile doit ainsi permettre le passage de plusieurs produits différents séquentiellement sur les postes de fabrication capables d'une polyvalence limitée,

- il faut adapter plus que jamais la fabrication à la demande et augmenter la flexibilité. Dans le cas de fabrication de séries, cela implique souvent des arrêts importants de production lors des changements de séries. On a cherché à limiter ces pertes de productivité par des approches de type SMED (6).

- la production doit aujourd'hui plus qu'avant respecter le triplet QCD : Qualité-Coûts-Délais, c'est-à-dire produire au coût "juste" le produit dans la qualité nécessaire, en fonction du cahier des charges du client, et dans les délais voulus par le client.

Les modes de gestion de production

De son côté, la planification de fabrication des produits a subi une évolution concomitante, de par cette nécessaire adaptation de l'offre à la demande, corrélée à une volonté définie de ne plus accepter de puiser

dans les stocks de produits finis, par trop coûteux et surtout risqués à cause de l'obsolescence rapide des produits (9).

Nous distinguons en fait quatre principaux types de modes de gestion de flux de production qui vont essentiellement être caractérisés par les flux d'informations qui contrôlent la production :

- *géré centralement*, ce que sont tous les systèmes MRP classiques (2,3,7) où l'on fabrique sur plan avec horizon de planification de plusieurs semaines ou mois. Ce mode de gestion s'est appliqué autant à la production de masse qu'à la petite série, en fait chaque fois que des produits définis et planifiables existent. Il est à noter qu'il est faux de considérer, comme on l'a souvent vu écrit, que le principe MRP "pousse" le flux, puisqu'en effet la gestion centralisée induit une décorrélation complète entre une opération et la suivante.

- *décentralisé et géré par l'aval*, qui est le flux tiré prôné par les Japonais (5), qui fonctionne bien en séries répétitives et dont l'application avec des kanbans est un exemple maintenant bien connu. Ce mode de gestion s'est très bien appliqué à la production de masse et de grandes séries. Il peut s'appliquer également à la production de petites séries pour autant qu'il existe une demande régulière pour ces produits.

- *décentralisé et géré par l'amont*, qui est du vrai flux poussé, qui est, selon nous, appelé à se développer pour pallier les limitations grandissantes de la planification des systèmes MRP classiques. Cette gestion par l'amont pourrait dès aujourd'hui être appliquée à la gestion de la production chez les sous-traitants non intégrés, c'est-à-dire fabricant à la commande des produits non planifiables, par opposition, par exemple, aux sous-traitants intégrés dans le secteur automobile où le produit est connu. Ce mode convient bien à une fabrication de petites séries, allant éventuellement jusqu'à l'unité, de produits non nécessairement répétitifs.

- *géré de façon synchrone*, c'est-à-dire avec un flux d'information synchronisé sur le flux de matière. Le flux est en fait auto-géré. Ceci s'applique par exemple à la fabrication très automatisée d'un produit unique décliné en variantes et options, depuis le produit microtechnique jusqu'à l'automobile, et fabriqué sur commande. C'est un cas limite du flux poussé. Ce mode convient bien à la fabrication de masse de produits différenciés mais dont la variabilité est limitée par les possibilités du système de production.

Modes de gestion et flux d'informations

Quand on examine les flux d'informations dans ces systèmes, on constate que dans un système géré centralement les flux sont verticaux et orthogonaux aux flux de matière et que dans les systèmes gérés par l'amont ou par l'aval, les flux sont horizontaux et parallèles ou antiparallèles aux flux de matière. Dans le mode synchrone, les flux d'informations sont évidemment parallèles aux flux de matière (voir Fig. 1).

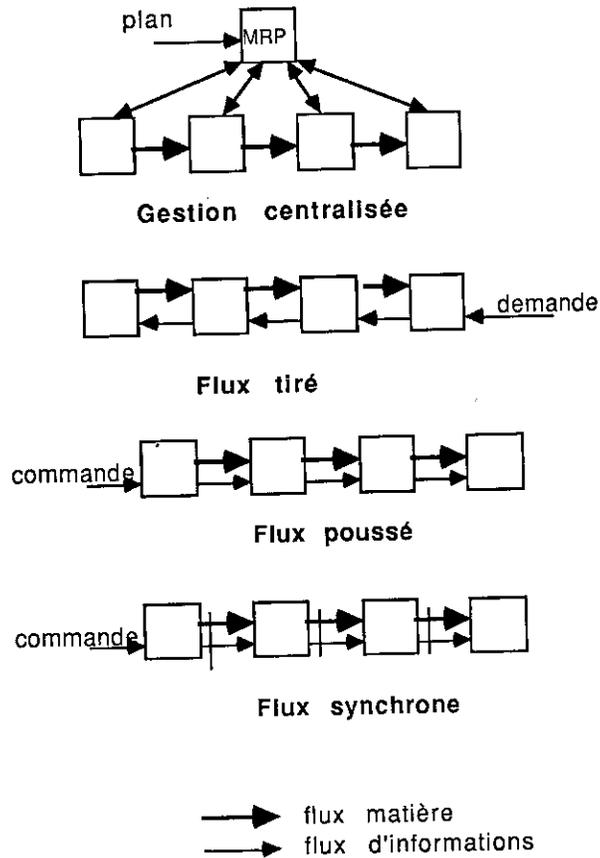


Fig.1 - Modes de gestion de la production

Les flux de matière ne sont pas synchronisés avec les flux de production sauf dans le mode synchrone. De façon générale, les flux d'informations précèdent les flux de matière et vont actionner les transferts de matière.

Dans le mode géré centralement, le déplacement de la matière est également géré centralement et souvent réalisé par du personnel spécialisé, surtout quand les sites des postes de charges successifs sont éloignés.

En flux tiré, la matière est déplacée par le demandeur, donc par le poste aval, quand l'information de la demande lui parvient.

En flux poussé, deux attitudes sont possibles, car quand le poste amont clôt l'opération qui le concerne, cette information parvient au poste aval et, dès lors, tant le responsable du poste amont que celui du poste aval peuvent s'occuper du transfert de la matière.

En flux synchrone, c'est soit la matière qui emporte l'information qui la concerne, à l'aide d'une étiquette électronique de palette, par exemple, soit un circuit d'information immédiatement parallèle et qui s'occupe de la gestion des aiguillages dans le transfert de la matière. Ce mode de gestion fait donc plus appel que d'autres à une forme plus ou moins sophistiquée de l'automatisation du transport. C'est en fait le seul cas qui nécessite une telle automatisation. On sait en effet que l'automatisation du transport n'apporte pas de valeur ajoutée ; sa justification ne devrait être liée qu'à un mode d'exploitation et non pour elle-même ; les échecs dans l'exploitation des FMS (Flexible Manufacturing Systems), où les AGV (Automatically Guided Vehicle) ont pu représenter jusqu'à un tiers de l'investissement et de l'emprise au sol, confirment cette nécessité.

Modes de gestion et organisation industrielle

En fabrication manufacturière, les routages des produits peuvent être organisés de l'une des trois manières suivantes (Fig.2) :

- *open shop* où la fabrication d'un produit peut se faire de plusieurs manières différentes; il y a plusieurs gammes de routage équivalentes,
- *job shop* où pour un produit donné, il n'y a qu'un routage possible, mais ce routage passe par des postes de charge pour lesquels tous les produits, chacun avec leur routage, entrent en compétition,

- *flow shop* où chaque produit suit le même routage, donc passe par les mêmes postes de charge, dans le même ordre ; certains produits peuvent ne pas passer sur l'un ou l'autre poste de charge, mais l'ordre reste respecté.

L'intérêt d'une organisation en *flow shop* n'a pas échappé aux responsables de production chargés de gérer des fabrications de petites séries à l'aide d'un atelier fonctionnel. Il en est né une nouvelle forme d'organisation industrielle, extrêmement efficace : la fabrication cellulaire (8). Il s'agit du regroupement dans une séquence précise de machines définissant une certaine gamme de fabrication, commune à plusieurs composants de produits fabriqués par l'entreprise. C'est donc du *flow shop* restreint à ces composants. Cette organisation dérive d'une application de la technologie de groupe.

Il est évident que l'organisation la plus simple à gérer (en fait à ordonnancer) est le *flow shop*. C'est l'organisation qui est employée dans la production de masse dont l'image traditionnelle est la chaîne de fabrication et, à une plus petite échelle, la machine automatique d'assemblage.

La production en petites séries fait traditionnellement appel à la production de type *open shop* ou *job shop*, ce qui correspond aux ateliers tayloriens, organisés fonctionnellement, c'est-à-dire par regroupement des machines de même type.

Par rapport à ces types d'organisations industrielles, le mode de gestion centralisé, type MRP, s'accommode de tous, puisque prévu dès le départ pour gérer des routages complexes, à l'aide d'une base de données centralisée, il est donc capable de gérer aussi bien une chaîne de production qu'un atelier fonctionnel. Dans le cas d'une fabrication organisée de façon cellulaire, ce mode peut se contenter de gérer la cellule comme une seule machine, plutôt que chacune des machines de la cellule (on sait cependant que cela peut poser des problèmes aux comptables !).

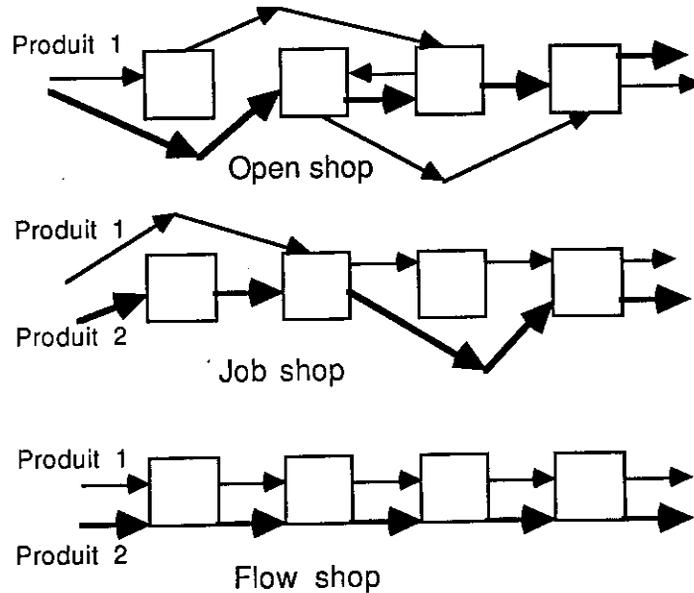


Fig.2 - Modes d'organisation industrielle

Le mode de gestion en flux tiré peut s'appliquer à un flow shop ou un job shop ; par contre, étant donné que les routages doivent être fixés à l'avance, notamment par les kanbans, ce mode de gestion ne convient pas à un open shop. Il est cependant souvent préférable, pour faciliter le transfert de matière, d'organiser l'atelier de fabrication en flow shop.

Le mode de gestion en flux poussé n'implique rien quant au mode d'organisation industrielle mais il convient naturellement à la gestion d'une cellule de fabrication, dont un des principes de fonctionnement est que chaque opérateur est responsable de la réalisation complète de la pièce que permet de faire la cellule, donc se déplacer avec la pièce d'une machine à la suivante, en "poussant" son travail.

Le mode de gestion synchrone implique une organisation industrielle qui soit de type flow shop, quoiqu'il soit possible que le système comporte des aiguillages et des circuits, notamment pour le retravail (rework) de pièces.

Le Tableau 1 résume ces points.

	centralisé	tiré	poussé	synchrone
open shop	oui	non	possible	non
job shop	oui	possible	oui	non
flow shop complet	oui	oui	oui	oui
flow shop partiel : fabrication cellulaire	non (ne gère pas la cellule en détail)	non	oui	NA

Tableau 1 - Modes de gestion et organisation industrielle

Modes de gestion et état de l'en-cours

L'état des en-cours est en fait plus lié à l'aspect d'organisation industrielle qu'au mode de gestion. En effet, les en-cours dépendent de deux facteurs importants :

- le fait de fabriquer en lots et de ne transférer d'un poste de charge au suivant qu'un lot complet (sauf en cas de chevauchement, ce qui, pour certains modes de gestion, est un mode opératoire complexe de par la nature de l'information à traiter),
- le temps d'attente du produit ou du lot fabriqué avant qu'il ne puisse être pris sur le poste de charge suivant.

A l'extrême, la combinaison d'une fabrication en lots, sans chevauchement opératoire et avec des temps d'attente interopératoire longs peut mener à des en-cours très importants. L'idéal pour n'avoir pas d'en-cours est donc de produire à l'unité, dans une organisation industrielle de type flow shop, ceci afin de permettre un transfert rapide de la pièce d'un poste de charge au suivant, ce qui est possible s'il est voisin.

Il y a actuellement une volonté marquée de produire à en-cours réduit

et si possible nul ("zéro stock") : c'est la fabrication en *flux tendu*, qui peut s'envisager dans tous les types d'organisations industrielles, mais c'est dans un flow shop qu'elle est la plus facile à mettre en œuvre.

Associée à cette idée de produire en flux tendu, il y a la volonté de produire en *juste-à-temps* (JAT), c'est-à-dire sur demande du client et en la satisfaisant immédiatement ("zéro délai"). Bien entendu, un tel mode de production implique que le temps de cycle technique soit inférieur au temps d'attente qu'accepte le client. Le temps de cycle technique est la somme des temps opératoires nécessaires pour fabriquer le produit, y compris les temps d'attente techniques, comme des temps de repos pour refroidissement par exemple. En juste-à-temps, il s'agit donc de réduire ou d'éliminer toutes les pertes de temps non productives (temps d'attente et temps de transferts principalement) et c'est là qu'apparaît la nécessité d'avoir un flux d'informations le plus proche possible du flux matière. En effet, le flux d'informations permet la prise de décisions et celles-ci doivent être rapides et proches de leur point d'application; donc les modes de gestion où les deux flux sont parallèles sont les plus appropriés. Rappelons encore qu'un prérequis important pour le JAT est la maîtrise de la capacité de production ("zéro défaut") et de la disponibilité des moyens de fabrication ("zéro panne").

Nous terminerons en notant que la synchronisation entre les flux de matière et d'informations a une incidence sur le volume de l'en-cours, puisque la prise de décision rapide que cela permet, agit directement sur le flux de matière et réduit donc fortement les temps perdus.

Les tableaux 2a et 2b résument ces points.

	centralisé	tiré	poussé	synchrone
temps d'attente inter-opérateur	peut être long	court mais lié à la demande	court mais lié à la capacité aval libre	normalement court
en-cours	important à moyen	moyen	moyen	faible

Tableau 2a - Modes de gestion et état de l'en-cours.

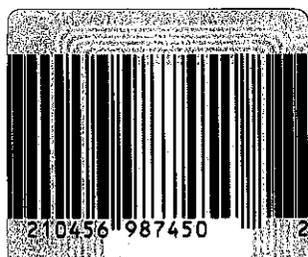
	centralisé	tiré	poussé	synchrone
fabrication en lots	nécessaire	nécessaire	pas nécessaire	non
chavauchement d'opérations	difficile	impossible	possible	NA
flux tendu	difficile	stock résiduel et en-cours	possible	oui
JAT	difficile	possible	possible	oui

Tableau 2b - Modes de gestion et forme d'organisation du flux.

Modes de gestion et ordonnancement

Dans un système de fabrication, la fonction d'ordonnancement ne traite que de problèmes individuels : il n'y a en effet aucune vision globale de la production. On considère en fait, qu'étant donné les aléas de fabrication (pannes de machine et pièces ratées), il est illusoire de chercher un optimum global. Donc l'ordonnancement, quoique centralisé, est une fonction qui fournit les listes d'ordre de passage des travaux sur chaque poste de charge par la prise en compte de critères locaux qui sont uniquement à caractère temporel (durée du travail, dates dues,...). Les règles classiques de type SPT (7) sont ainsi d'application courante. Quand il y a un critère global pris en compte, il se limite également au temps (respect d'un délai, d'une date due, étude de la somme des temps opératoires) et y ajoute parfois une information sur le nombre d'opérations encore à faire. Ce sont les règles classiques comme par exemple le ratio critique ou le ratio critique par opération (7).

Dans les systèmes MRP, cet aspect ordonnancement est aujourd'hui de plus en plus traité par des logiciels spécialisés, les SFC (Shop Floor Control) qui gèrent au mieux les queues d'entrée des postes de charge et les débits de ces derniers, mais qui n'offrent pas de nouvelles techniques pour ordonnancer les travaux.



Dans un système géré en flux tiré, la fonction d'ordonnancement est quasi inexistante et elle se limite à la satisfaction des besoins locaux ; en effet, sur un poste de charge donné, géré par kanbans, l'opérateur choisira de lancer l'opération pour la pièce dont le nombre de kanbans de demande est le plus important. L'optimisation est donc toujours purement locale et seulement liée au temps (qui se traduit ici par la quantité en attente de traitement).

Dans le système à flux poussé, l'opérateur est informé à l'avance d'une liste de travaux à effectuer et il peut appliquer des méthodes d'ordonnancement local équivalentes à ce qui se fait dans un système MRP. Cependant, le système peut également prendre en compte des contraintes locales plus fines que dans un système strictement centralisé. En effet, au niveau du poste de charge à ordonnancer, le détail de l'emploi des outillages ou de la localisation des matières à ouvrir, permet une optimisation locale plus adéquate. De plus, il est tout-à-fait possible de réaliser une optimisation globale, sur l'intégralité du flux.

Dans le système synchrone, il est nécessaire de contrôler constamment l'ensemble du processus productif, donc l'ordonnancement est centralisé et réactif; il prend en compte des aspects globaux et réalise ainsi une optimisation globale de la production.

Le tableau 3 résume ces points.

	centralisé	tiré	poussé	synchrone
ordonnancement	centralisé	décentralisé par nature	décentralisé	centralisé
optimisation	locale (contraintes temporelles seules)	pas d'optimisation ou seulement locale (quantités)	locale et/ou globale (contraintes complexes)	globale (contraintes complexes)
réactivité	statique	NA	statique ou réactif	réactif

Tableau 3 - Modes de gestion et ordonnancement

Modes de gestion et planification

Si l'ordonnancement est une fonction locale, mais qui doit être envisagée globalement, que devient alors la planification, qui, elle, reste une fonction centrale ?

Dans un système MRP, la planification est une étape très importante (le Plan Directeur de Production) et elle est précédée d'une étape de planification stratégique (le Plan Industriel et Commercial). La planification se fait par familles de produits, en incluant des facteurs correctifs pour prendre en compte les variantes et les options. Il s'agit en général de plans glissants à plusieurs mois. La gestion centralisée permet donc de gérer l'ensemble des ressources : les matières premières, les fournitures, les machines, les opérateurs, parfois les outillages,...

Dans aucun des trois autres modes de gestion (tiré, poussé ou synchrone), il n'y a de réelle planification. En fait, dans ces trois modes, on fait en sorte que la limitation des ressources en capacité ne soit pas une contrainte : il y a en général surcapacité. Quant à la planification produit, elle est implicite dans l'organisation industrielle qui est le plus souvent de type flow shop (voir Tableau 1). Notons cependant une différence sensible entre le mode tiré et les modes poussé ou synchrone (voir Fig.1) : le mode tiré dépend d'une demande qui est souvent planifiée, alors que les deux autres modes dépendent des commandes et ne sont donc pas planifiés.

Dans les modes de gestion centralisé et tiré, l'accent est mis sur les produits alors que dans les modes poussé ou synchrone, l'absence de produit fait que l'accent est mis sur les processus de fabrication.

Le Tableau 4 résume ces points.

	centralisé	tiré	poussé	synchrone
Existence de produits précis	oui	oui	pas nécessaire	enveloppe-produit (1)
Stabilité des produits	nécessaire	régularité nécessaire	pas nécessaire	oui pour l'enveloppe
Point focal	les produits	les produits	les processus	les processus
Planification produits	nécessaire	implicite	pas nécessaire	pas nécessaire
Planification capacité	nécessaire	globale	globale	globale

Tableau 4 - Modes de gestion et planification

(1) voir plus bas l'explication de ce concept d'enveloppe-produit.

Le concept MRP a-t-il un futur ?

Le concept MRP de gestion des approvisionnements et des stocks (principe d'Orlicky (2)) existe depuis près de trente ans; il a été complété, il y a une quinzaine d'années par le concept MRP II de gestion des ressources de production (principalement la capacité - O. Wight (3)). Il s'agit d'une construction très logique qui partant d'une estimation des besoins futurs du marché, détermine le plan-produits et de là les besoins en matières et en capacité de production.

Il y a cependant une évolution importante dans le comportement des marchés :

- les séries sont de plus en plus courtes et différentes,
- les produits sont de moins en moins planifiables; avec l'augmentation du nombre de versions, il faut attendre les commandes des clients pour caractériser les produits.

Face à cette évolution, nous pensons que le concept MRP va évoluer sensiblement :

- l'importance du plan stratégique va augmenter et sa construction devra de plus en plus faire appel à une approche de type dynamique des systèmes afin de modéliser les marchés adressés. Cette approche va compléter et même remplacer les méthodes classiques de prévisions

(comme les lissages exponentiels en tous genres) et permettre l'étude de divers scénarios, incluant éventuellement de l'information floue ou incertaine. La simulation prendra donc une importance grandissante à ce niveau.

- le plan directeur de production va perdre de son importance et déplacer son point d'application d'une planification des produits, de moins en moins possible, vers une planification des matières premières et fournitures qui sera mieux garantie, grâce à une étude soignée des produits en termes de modularisation et de normalisation interne poussée éventuellement jusqu'au concept "d'enveloppe produit" (voir plus bas). Cette approche est rendue possible par le fait que la nécessité du JAT va impliquer que la fabrication des produits se fera sur commande des clients.

- la gestion technique de fabrication (ou SFC - shop control) va augmenter en importance, car il s'agira de réagir immédiatement aux aléas de fabrication ; au lieu d'être un système centraliseur, gérant des données, le système qui succédera à MRP II sera à même de gérer des événements et de réagir en temps réel. L'ordonnancement sera en général supporté par des outils de simulation permettant d'évaluer des solutions alternatives en termes d'états futurs du système.

L'anomalie OPT

A la fin des années soixante-dix, il semblait évident que l'approche MRP était la solution aux problèmes de gestion de production.

Face aux difficultés que rencontrait le MRP pour résoudre le problème des goulets de fabrication, le Dr E. Goldratt propose, en 1985, un ensemble de neuf règles pour gérer cette question, ainsi qu'un logiciel, le tout sous le nom d'OPT, Optimized Production Technology (4).

Il est intéressant de constater qu'aucune de ces neuf règles n'aborde la question du "pourquoi" du problème du goulet, mais toutes s'intéressent au "comment" le résorber. Autrement dit, la machine goulet, dont les temps de réglage sont peut-être longs, dont la fiabilité est peut-être mauvaise, n'est pas questionnée pour elle-même : on cherche uniquement à réorganiser les flux en amont et en aval de la machine sans chercher à améliorer la machine elle-même, en fractionnant, en regroupant, en ayant des lots de transferts de taille différente de celle des lots de travail, en employant un logiciel d'ordonnancement extrêmement onéreux,...

L'approche de S. Shingo, avec sa méthode des "cinq pourquoi (s)" et le SMED (5,6) sera une réponse bien plus efficace au problème posé que

ne l'est OPT. Notons cependant que les règles d'OPT sont des règles de bon sens qui méritent d'être considérées, notamment peut-être le fait qu'il est inutile de chercher à améliorer le temps de passage sur une machine qui n'est pas un goulet, donc il sera inutile de lui appliquer une action SMED ! Par ailleurs, il n'est pas toujours possible ou rentable d'appliquer le SMED à une machine et dans ce cas le regroupement de lots peut s'avérer utile.

Cette méthode OPT a été remise au goût du jour par son auteur, sous le nom de "théorie des contraintes" (TOC - Theory of Constraints (19)) où il intègre la notion de JAT par l'approche "drum-buffer-robe", le tambour (pour la cadence), le stock (pour les transferts) et la corde (pour la mise en tension des flux).

Le flux tiré et les kanbans ont-ils un futur ?

La méthode kanban (5) est la plus couramment mise en œuvre pour réaliser une production à flux tiré. La production est tirée par la demande et "le canal de production" est constamment plein de produits à divers stades de leur fabrication ; un tel système de production est donc extrêmement réactif et permet de satisfaire la demande du client quasi immédiatement. Le système est de type juste-à-temps (au sens "zéro délai").

Bien entendu le canal de production est très dédié aux produits fabriqués : la flexibilité du système n'est pas très grande.

En fait cette méthode de gestion s'apparente tout-à-fait à une méthode de reconstituer des stocks, qui sont ici tous dans les en-cours mais à des niveaux plus bas.

Comme les séries sont de plus en plus courtes et différentes, une telle méthode peut s'avérer désastreuse car la demande pour le produit peut disparaître. Un tel système reste donc très sensible à une bonne planification des ventes des produits et en tant que tel va perdre en importance au profit des systèmes poussés ou synchrones. On peut imaginer qu'avec une conception de produit bien faite (modulaire par exemple), certains composants basiques soient relativement indépendants des fluctuations de la demande et pourraient être gérés en flux tirés mais, fondamentalement, ce mode de gestion sera de moins en moins en contact avec la demande *externe*.

La gestion en flux poussé

La production en flux poussé est une idée nouvelle que nous proposons (16) et dont nous pensons que son importance ira croissant pour les raisons suivantes :

- elle permet une grande flexibilité dans la réponse au client en permettant la fabrication du produit sur spécification du client,
- elle peut offrir un délai de réponse acceptable, de par la possibilité de fabriquer en juste-à-temps (voir Tableau 2); de plus avec une fabrication planifiée ou tirée de certains composants, ce mode générerait principalement l'assemblage final ; bien entendu ce mode ne peut satisfaire immédiatement le client comme le ferait un flux tiré.
- elle offre plus de flexibilité qu'un système à flux tiré puisque ce mode permet de réagir aux variations de demande sur les produits.

En pratique ce mode consiste à informer le poste de charge suivant celui sur lequel une opération est en cours de la prochaine disponibilité de ce travail ; cela permet de déjà le prendre en compte au niveau organisationnel : préparation des outillages, disponibilité des informations techniques associées à la gamme, dessin des pièces - éventuellement par une CAO de consultation locale,... Ensuite, on informe le poste aval que le travail vient d'être terminé sur le poste amont, sur une pièce ou sur un lot, et qu'il est à présent disponible; cette information est ajoutée à la liste des travaux encore à passer sur le nouveau poste de charge; cette liste est réordonnée en prenant en compte les contraintes locales et globales et le nouvel ordre de prise en charge des travaux est proposé à l'opérateur.

Ce dernier garde cependant la liberté de choisir le travail qu'il veut faire; en soi cette approche est un peu symétrique du système kanban, où l'opérateur choisit le travail qu'il va faire après consultation du tableau des kanbans à servir.

L'acheminement du lot peut alors se faire par envoi depuis le poste de charge précédent ou par appel au poste de charge précédent depuis le poste aval, ou en envoyant une personne du poste aval chercher le travail au poste amont ou en faisant appel à un service dédié, qui aurait à ordonnancer ses propres interventions. Bien entendu, le mode souhaitable d'acheminement est le mode "poussé" : le poste aval apporte le travail au poste amont; cela crée une forme de pression sur la fabrication en aval.

Nous avons pu voir que ce mode s'appliquait naturellement dans des environnements de type sous-traitance de capacité (10) dans un triple concept de planification statistique-flux poussé-ordonnancement local sous contrainte d'optimalité globale du flux que nous ne développerons pas ici.

Il est important de signaler qu'un tel mode de gestion a des implications humaines importantes, dans la mesure où l'opérateur d'un poste ou le responsable d'une section ont en plus de leur rôle technique habituel qui concerne la réalisation des produits dans les spécifications définies, un rôle de gestion : ils doivent décider comment organiser leur travail.

Par ailleurs un tel mode de gestion a un caractère réactif important : en poussant le travail, il peut s'avérer nécessaire de changer de poste de charge aval (panne, urgence, file d'attente,...) et dès lors de gamme de fabrication ; cette dernière ne fait donc plus partie des données structurelles de l'entreprise, cela devient une donnée conjoncturelle (17) qui participe à l'optimisation tout en tâchant de respecter le plus possible le caractère flow shop de la production.

Ce sont des raisons principalement techniques qui limitent l'emploi immédiat d'un tel mode de gestion aujourd'hui :

- absence de logiciels de gestion technique de fabrication performants et disposant d'un mécanisme de transfert "horizontal" de l'information, le plupart des SFC actuels n'offrent qu'une gestion centralisée des ateliers,
- absence de logiciels d'ordonnancement local et décentralisé qui permettent de faire de l'optimisation globale de flux en tenant compte des contraintes physiques et non pas seulement temporelles, comme par exemple, la nécessité de réoutiller une machine, le volume - en palettes ou en mètre cubes - du travail à traiter. Cette question commence à être abordée et certaines techniques d'optimisation permettent d'envisager des solutions efficaces dans les ateliers (11).

La gestion synchrone

L'approche synchrone a pour avantage de transcender les dichotomies habituelles, flux verticaux ou horizontaux, tirés ou poussés, centralisés ou décentralisés, en réalisant une synthèse des avantages de ces modes. Il s'agit d'un mode de production déjà largement connu, puisque les machines-transfert de l'automobile en sont une forme, de même que certaines machines d'assemblage composées d'une seule

installation, généralement à flux progressif (sans circuits), avec des alimentations en pièce faites le plus souvent avec des bols vibrants. Cependant l'approche que nous en avons dans cet article est nouvelle puisqu'elle concerne la mise en œuvre de ce type de gestion pour la fabrication en série de produits unitaires, donc en exploitant une très grande externalité de l'information contrairement aux machines-transfert ou aux machines d'assemblage. Ce mode de gestion présuppose l'application d'un concept TPM (Total Productive Maintenance) qui assure une très grande disponibilité à l'installation de fabrication.

Ce mode suppose aussi une certaine automatisation dans le transport puisque la matière et l'information voyagent de façon synchronisée en suivant un chemin précis, donc dans une organisation flow shop, ce qui est en soi différent du flux poussé, qui lui peut également s'appliquer à un job shop. Cette synchronisation peut être physiquement réalisée de plusieurs manières : palettisation des produits avec emport d'une étiquette électronique ou trafic sur un réseau informatique liant les postes de charge. Il y a donc gestion décentralisée de l'information : c'est l'information qui accompagne le produit qui dicte aux postes de charge successifs les opérations qu'il y a à faire dessus.

Certaines informations doivent cependant être centralisées : ce sont les informations relatives à l'état du système productif : pannes, taux de rebuts élevés, perte de synchronisation entre lignes parallèles concourantes,...

A leur tour ces informations sont redistribuées aux postes de charge car l'arrêt de certaines parties des lignes de fabrication correspondra à l'impossibilité de fabriquer certaines variantes du produit.

Ce mode de gestion s'applique particulièrement bien à la fabrication de produits de série fabriqués en de nombreuses variantes, pour autant que la variabilité du produit soit entièrement accessible au domaine de fabricabilité du système de production (12); ce mode se couple naturellement à un concept d'enveloppe-produit.

En pratique, de par l'automatisation que ce mode suppose et de par le type de produit auquel il s'applique, il y a une forte intégration entre la réception des commandes clients et la mise en fabrication des produits : l'appartenance du produit à une enveloppe-produit fixe le mode de production et le choix des postes de charge et des outils à activer.

C'est ce type de système de fabrication qui, selon nous, se prête le mieux à une fabrication intégrée par ordinateur (CIM) ; les ateliers flexibles (FMS) furent des précurseurs non viables de ces systèmes à partir du moment où d'une part ces systèmes restaient conçus comme des job shop et d'autre part le système de transport automatique mélange les flux de pièces de gammes très différentes et souvent conditionnées différemment.

En conclusion, l'objectif du mode de production synchrone est la fabrication de produits uniques, en juste-à-temps et avec un concept de fabrication en grande série.

La relation produit-système de production

La relation qui existera entre un système de production et le produit qu'il va servir à fabriquer dépendra d'abord de la taille des séries. Un produit fabriqué en grande série le sera sur une installation très dédiée et donc hautement productive. En très petite série, l'approche sera inverse et les moyens de fabrication seront plutôt universels et dès lors moins productifs; dans le même temps, le produit sera étudié de manière à être aisément fabriqué à l'aide de ces moyens. La fig.3 est une représentation classique de cette relation entre flexibilité et productivité : elle est toujours vue comme étant à caractère "hyperbolique", le long de laquelle on placera les différents systèmes de fabrication.

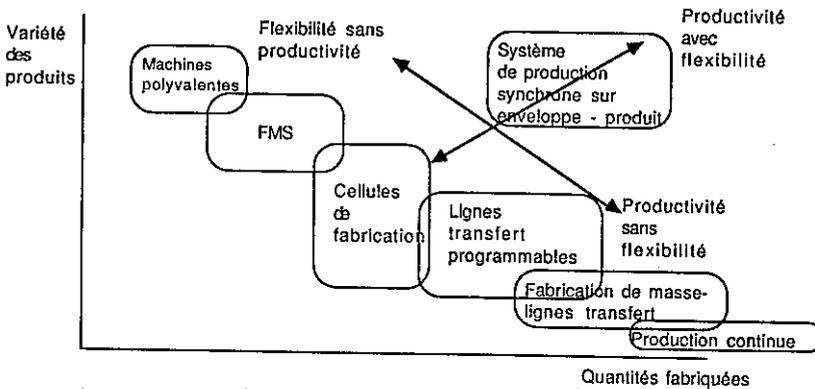


Fig3 - Taille des séries fabriquées et type de système de fabrication

Avec le remplacement progressif de la fabrication de masse par de la fabrication en séries de plus en plus courtes et même de la fabrication unitaire, la perte de productivité liée à l'emploi d'un système de fabrication universel amènerait un renchérissement inacceptable des produits. La solution à ce problème passe par le concept d'enveloppe-produit. A cet effet le produit est défini par un ensemble de paramètres (géométriques et techniques) dont les domaines de variation sont parfaitement limités ; à l'intérieur de ce domaine, les produits sont fabricables par le système de production. Cette approche permet à la fois de créer un système hautement productif, de type fabrication de masse, et très flexible, car capable de fabriquer l'un après l'autre deux produits différents mais appartenant à la même enveloppe-produit. Nous complétons donc la Fig3 avec ce type de système : nous quittons ainsi la représentation "hyperbolique" classique.

De façon plus générale, un tel concept facilite aussi la programmation du système de fabrication et supprime le besoin d'un bureau des méthodes spécifique : il y a à la fois internalité et externalité de l'information de fabrication, l'externalité étant limitée à des codes booléens d'activation ou non de certaines parties du système de fabrication.

Un tel concept complète nécessairement un mode de gestion synchrone, car la forme de l'information circulante a une variabilité définie.

Les systèmes d'information de la gestion de production

Examinons à présent comment une entreprise décidant de changer son/ses modes de gestion de production pourrait s'y prendre.

La mise en place d'un système de gestion de production doit être précédée d'une analyse du système d'information formel et informel existant dans l'entreprise. Cette analyse des flux d'informations doit permettre de définir les centres de traitement de l'information et les centres de décision. La conception ou la reconception du système d'information en découlera.

Cette conception doit être faite en respectant trois principes :

- *la simplicité* : il faut éliminer les doubles circuits, la création d'informations inutiles, une hiérarchie de niveaux de décisions qui rendraient le système trop rigide et trop peu réactif. Une approche de type GRAI (13), d'analyse des décisions et découpant le système en horizons et périodes sera utile à cet effet.

- *la localité* : l'information nécessaire à la production est générée en beaucoup d'endroits, traitée en d'autres et sert de base à des décisions en des troisièmes; si l'on considère les constantes de temps d'un système de production, on constate que plus en est proche du processus, plus il est nécessaire de réagir rapidement; pour cela, il est important que l'information générée par le *processus* donne naissance à des prises de décision qui soient proches de leur point d'application : c'est pour cela que le flux d'informations servant de base aux décisions doivent être parallèle aux flux de matière (principe de "need to know" plutôt que "nice to know") et que les flux d'informations à caractère statistique ou comptable peuvent s'en écarter. Une approche de type OLYMPIOS (14), d'analyse en termes de clients-fournisseurs, pourrait supporter cette conception.

- *l'organicité* : la production est un système complexe; il faut l'organiser en sous-systèmes de telle sorte que chaque sous-système ait une *cohérence* propre maximale et un minimum de *couplages* avec les autres sous-systèmes (voir aussi (18)). Une telle approche facilite la compréhension, la recherche et l'élimination des dysfonctionnements ainsi que, plus tard, l'évolution même du système.

Nous en concluons que les systèmes d'informations de la gestion de production devraient comporter à la fois des aspects de centralisation et activer des flux verticaux et horizontaux. Les systèmes qui répondent le mieux à ces critères sont les modes de gestion en flux poussé et surtout la gestion synchrone.

Le futur des logiciels de gestion de production

Il existe aujourd'hui pléthore de logiciels de type MRP, applicables à toutes sortes de secteurs industriels (9). Avec l'évolution des modes de gestion de production que nous imaginons, ces logiciels devront évoluer. L'approche organique nous amène à considérer que ces logiciels devraient être modulaires et les modules les plus importants en seront :

- *la gestion de configuration des produits* qui devra établir le lien entre les performances souhaitées par le client et la composition technique du produit. En d'autres termes, les concepts classiques d'articles et de nomenclatures disparaissent au profit d'un système de gestion des données techniques basées sur des règles et des paramètres ou même un langage de description des produits (15),

- *la gestion de configuration du système technique de fabrication* qui permettra de créer dynamiquement les gammes de routage et de fabrication des produits au départ de leur description et de la connaissance des possibilités du système de fabrication lui-même. Le concept de gamme de fabrication comme entité informationnelle stable disparaît de même que le bureau des méthodes qui n'a plus de raison d'être ; il ne restera que la nécessité d'une responsabilité de l'industrialisation afin d'étudier l'évolution du système de fabrication,

- *la gestion du plan de production et des commandes clients*, remplacera le plan directeur de production ; *la gestion des approvisionnements* sera gérée dans ce module,

- *la gestion technique de fabrication (SFC)* qui va assurer le routage des travaux au travers du système de fabrication, va ordonnancer les travaux sur les différents postes de charge en faisant de l'optimisation globale et locale, va suivre la capacité des processus, la qualité produite et la maintenance du système productif. La gestion des sous-traitants doit être intégrée dans ce module.

D'autres modules comme ceux liés à la comptabilité et aux finances vont, bien entendu, exister.

Conclusion

Quatre modes de gestion de production fondamentaux ont été identifiés. L'évolution de la demande des marchés nous amène à imaginer que deux de ces modes vont prendre une place importante dans le futur : les modes de gestion poussée et de gestion synchrone, comme cas limite, particulièrement adapté à l'automatisation et au CIM, en remplacement des modes actuels, de gestion centralisée ou tirée par l'aval.

Le Tableau 5 présente deux cas de figure de nouvelles organisations productives, basées sur l'emploi de ces modes de gestion, sous l'hypothèse d'une structuration à trois niveaux : le produit est fait de modules eux-même faits de composants.

a) Production sans support d'une enveloppe produit

	Organisation	Flux	Ordonnancement
Produits	poussé	job ou flow	global
Modules	poussé/tiré selon quantités/valeurs	flow ou cellular	local
Composants	tiré	flow	pas d'ordo.

b) Production avec le support d'une enveloppe-produit et son automatisation

	Organisation	Flux	Ordonnancement
Produits	synchrone	flow	global
Modules	synchrone	flow	global
Composants	synchrone	flow	réactif

Tableau 5 - Exemples de nouvelles organisations productives.

Ces nouveaux modes ne sont pas aujourd'hui supportés par les logiciels de gestion de production existants et nous proposons une amorce de structuration de ces nouveaux logiciels.

Remerciements

Je tiens à remercier mes collaborateurs MM S. Looks et F. Pithoud pour leurs remarques constructives sur ces idées et leur présentation.

Références

- (1) J. Woodward "Industrialisation Organisation : theory and practice" - Oxford University Press (1965).
- (2) J. Orlicky "Material Requirements Planning" - Mac Graw Hill (1975).
- (3) O. Wight "Manufacturing Ressource Planning : MRP II" - O.W.C. (1984).
- (4) E. Goldratt, J. Cox "The goal" - North River Press (1984).
- (5) S. Shingo "Le Système Shingo" - Editions de l'Organisation (1990).
- (6) S. Shingo "A Revolution in Manufacturing - The SMED System" - Productivity Press Inc. (1985).
- (7) T. Vollmann, W. Berry, D.C. Whybark "Manufacturing Planning and Control Systems" - Business One Irwin ed (1988).
- (8) P. Béranger "Les nouvelles règles de la production" - Dunod (1987).
- (9) H. Molet "Une nouvelle gestion industrielle" - Hermes (1993).
- (10) H. Mulkens, F. Pithoud - "JIT and production mangement for subcontractors : a deductive and practical approach" - Congrès APMS-IFIP - Athens sept. 1993.
- (11) H. Mulkens "Revisiting the Johnson algorithm for flow shop scheduling with Genetic Algorithms", accepté au Workshop "Knowledge-based reactive scheduling" - Athènes septembre 1993.
H. Mulkens "Genetic algorithms applied to the scheduling of a machine with tooling constraints", accepté à Journal of Manufacturing Systems.
- (12) H. Mulkens, WE Steigerwald "Advanced Production Management Organisation : a new production philosophy - en préparation.

- (13) G. Doumeingts "Méthode GRAI : méthode de conception des systèmes en productique" Thèse d'état - Univ. Bordeaux 1984.
- (14) D. Beauchêne, A. Haurat, B. Schweyer "Designing an Information System for a Congrès APMS-IFIP - Athens sept. 1993.
- (15) S. Looks, H. Mulkens "QFD as a guide for a product configuration management system" - en préparation.
- (16) H. Mulkens, F. Pithoud "La gestion en flux poussé" - en préparation.
- (17) F. Pithoud "Les gammes de fabrication dynamiques" - en préparation.
- (18) H. Warnecke "Die fraktale Fabrik" - Springer (1992).
- (19) E. Goldratt "Theory of constraints" - North River Press (1990).