

# L'ORDONNANCEMENT DOIT-IL PROPOSER UNE SOLUTION OPTIMALE ?

Samit Lamouri\* et André Thomas\*\*

---

Résumé. - Aujourd'hui les systèmes d'information deviennent de plus en plus complexes. Avec la masse de données à exploiter, l'ordonnancement devient une fonction cruciale. Cependant, les objectifs de flexibilité et de réactivité induits par le contexte économique, conduisent le gestionnaire à proposer des programmes d'activités très fréquemment. Compte tenu des différents critères qu'il doit optimiser et de la rapidité avec laquelle il doit faire ses propositions, il aura à sa disposition un espace de validité : « une zone de faisabilité » qui ne lui garantira pas l'optimum, mais qui lui assurera un bon compromis.

Mots clés : ordonnancement, réactivité, capacités, activités, lots, multi-critères, goulets.

## 1. Introduction

Dans l'environnement économique actuel, les gestionnaires de production trouvent leurs tâches de plus en plus complexes. Positionnés à l'interface entre direction et production, entre achat et vente, entre production et finance ..., ils sont soumis à toutes sortes de contraintes. Mais en quoi leur métier d'aujourd'hui est-il différent de celui d'hier ?

- Le contexte économique et commercial demande beaucoup plus de réactivité face à l'expression des attentes clients et, dans le même temps, demande un maintien voire une augmentation des marges.
- De plus en plus de sociétés industrielles ont des systèmes de gestion de production assistée par ordinateur (GPAO), voire des systèmes d'information encore plus ouverts sur les autres fonctions de l'entreprise, on parle de systèmes de gestion industrielle (GI). Ces sociétés réalisent alors que seul, ce système ne les fait pas progresser. Les progrès viennent de l'organisation et de l'exploitation optimale de

---

\* Consultant associé, Proconseil Consulting Group - Professeur associé au département OGP de l'université de Cergy-Pontoise.

\*\* Agrégé-docteur, CPIM, Expert AFAV, ENSGSI, Nancy.

celui-ci : il ne suffit pas d'avoir dans son organisation des moyens qui permettent de produire en « juste à temps », il faut distribuer le travail en conséquence !

- Les systèmes d'information (SI) sont de plus en plus intégrés et permettent de saisir, en temps réel, des données qui sont sans cesse plus nombreuses. Le problème se pose alors de les exploiter rapidement. Les règles qui induisent les choix doivent conduire à un raisonnement global tout en respectant la multitude de contraintes que localement, le quotidien met à jour (contraintes de capacité conjoncturelles, contraintes de compétences dans un secteur, sur une machine ...).

## 2. L'ordonnancement : une fonction cruciale

La fonction de planification en gestion de production assistée par ordinateur (la G.P.A.O.) a un objectif stratégique, celui de déterminer un programme directeur de production (P.D.P.). Celui-ci fixe les objectifs à atteindre quant aux quantités à fabriquer, ainsi que les périodes correspondantes. Le niveau opérationnel est celui de l'ordonnancement qui s'intéresse aux charges des moyens de production à court terme. L'ordonnancement tient naturellement compte des capacités de production des ressources (matérielles, humaines) disponibles, ainsi que des goulets d'étranglements.

Ainsi l'ordonnancement devient une fonction cruciale. Cette fonction ne permet plus uniquement d'assurer un bon ratio de productivité pour le système productif, mais c'est elle qui réalise, qui rend visible la flexibilité et la réactivité de l'organisation. Aujourd'hui les systèmes d'information supports deviennent de plus en plus complexes (on parle de « entreprise resource planning » -ERP-)[WIL 96], les gestionnaires de production passent de plus en plus de temps, consomment de plus en plus d'argent, à générer leurs programmes. Cependant, on doit constater que la plupart de ceux-ci ne sont pas toujours respectés. La cause en est la suivante : le quotidien conduit à de tels changements dans les activités détaillées que, même si au niveau du programme directeur de production (PDP), il existe une « période gelée », la feuille de lancement devient en quelques heures obsolète, que le réordonnancement devient une activité prioritaire. La question fondamentale est alors : *Quelle est la fonction de service que doit rendre l'ordonnancement réactif ?* [THO 95] et par suite, *Quelle énergie doit-on lui consacrer ?*

## 3. Qu'attend-on d'un système d'ordonnancement ?

L'objectif de l'ordonnancement est de dire qui doit travailler, que doit-on « prendre en main » et quelle activité doit-on faire à un moment donné [VOL 92].

Pour ce faire, les contraintes de l'ordonnancement sont de deux types :

- *liées au temps* : minimiser le temps total de réalisation d'un ensemble de tâches, minimiser l'écart maximal par rapport à des dates limites fixées pour certaines tâches, minimiser des combinaisons pondérées de ces écarts, minimiser le nombre de tâches en retard.
- *liées aux ressources* : minimiser la quantité de ressources nécessaires à la réalisation d'un ensemble de tâches, lisser le niveau d'utilisation des ressources.

Au niveau de la programmation détaillée, les bons logiciels d'ordonnancement doivent aider le gestionnaire à utiliser au mieux les ressources de production, et en particulier, celles qui induisent des contraintes. Ce n'est pas chose facile si on considère la multitude de combinaisons qui s'offrent à lui quand on prend en considération les hommes, les machines, les outils et les outillages, les matières et les articles à un moment donné. En fait un système d'ordonnancement est plus qu'un système de planification détaillée. Il doit prendre en compte les capacités réelles des ressources de l'atelier. Il ne suffit pas de proposer des programmes à capacité infinie, ni même des programmes basés sur une estimation des capacités ou sur des capacités « standards », « théoriques » des postes de charge, pour une période considérée. Si on veut proposer un programme réaliste face à la situation conjoncturelle de l'atelier, il est nécessaire d'interpréter les données de capacité, non plus comme des données statiques, mais comme des données dynamiques, c'est à dire de considérer la capacité de la ressource X, par exemple, comme étant réajustable en fonction des événements vécus dans l'atelier[THO 93]. Ainsi la programmation des opérations de gamme sur les postes de charge aura des chances de pouvoir vraiment se réaliser. Cependant on peut imaginer, d'ores et déjà, que les prises de décision concernant l'ordonnancement devront être extrêmement rapides pour répondre aux problèmes posés par les différents événements à l'atelier.

#### 4. L'incohérence des objectifs

Dans ses propositions quotidiennes, le système doit coordonner et séquencer un nombre fini d'activités. Il doit aider le gestionnaire à créer des scénarios que celui-ci devra évaluer. Parmi ces scénarios, certains peuvent être meilleurs que d'autres, des comparaisons peuvent être faites avant la prise de décision.

Se pose alors la question des objectifs que le gestionnaire prend en compte. Les objectifs ci-après sont communément reconnus [BEN 87], [LAM 87] :

- Diminution du niveau des en-cours.
- Maximisation du taux d'utilisation des ressources.
- Réduction des temps de cycle de production (délai par gamme)
- Amélioration du taux de service client (en fait, il cherche à fiabiliser la date de disponibilité des produits, c'est à dire, à diminuer au maximum l'écart entre la date de disponibilité de l'article et la date d'exigibilité).

On pourrait encore ajouter :

- Minimiser les coûts de production résultants (encore que peu de gestionnaires en ont les moyens réellement à l'heure actuelle).

Ces objectifs sont des facteurs de plus qui complexifient la prise de décision du gestionnaire.

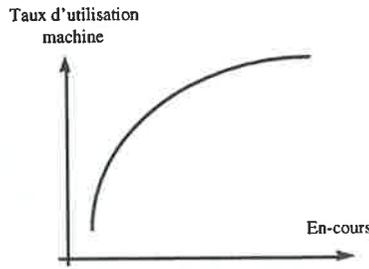


Fig. 1 : un conflit d'objectif : taux d'utilisation des machines / en-cours

La Fig. 1. montre que si on maximise le taux d'utilisation machine, cela conduit à augmenter le niveau des en-cours. En effet, dans le cas où très peu de pièces circulent dans l'atelier, les machines attendront les pièces à transformer. Si on veut que les machines soient en permanence occupées, il faut qu'il y ait au moins une pièce qui attende devant chaque machine à l'instant où celles-ci se libèrent (notion de stock de protection). Et, d'autre part, si on lance dans l'atelier plusieurs OF, on augmentera le volume d'en-cours du fait de la taille des lots et de l'utilisation de ressources communes.

### Il y a conflit d'objectifs!

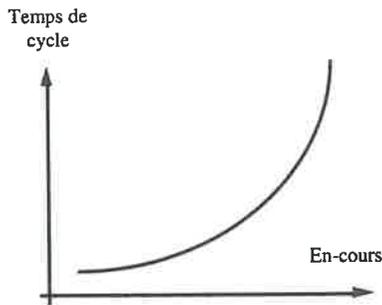
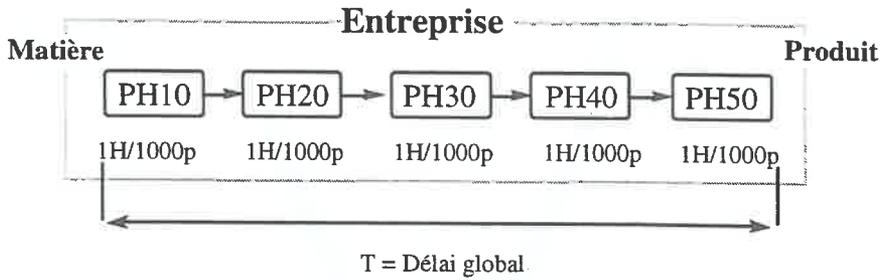


Fig. 2 : un sens commun : temps de cycle / en-cours

La Fig. 2 montre, elle, un sens commun : on peut observer qu'un niveau d'en-cours élevé conduit à avoir un nombre important de pièces en file d'attente devant les postes et donc à augmenter les délais.

Une étude du CETIM<sup>30</sup> faite il y a plusieurs années (et ayant toujours cours !) a montré qu'une pièce attend en moyenne 95% de son temps global de transit. Ce qui signifie que si « T » est le temps global de transit, temps entre le moment où la matière entre dans l'entreprise et le moment où la pièce en sort, la pièce ne sera « prise en main » que 5% de « T ».

<sup>30</sup> Centre d'Etudes des Techniques de l'Industrie de la Mécanique.



1er cas : Lot de production = Lot de transfert = 1000 p

- T = 5 Heures -

2ème cas : Lot de production = 1000 p ; Lot de transfert = 1000 p

- T = 30 minutes -

3ème cas : Lot de production = 1000 p ; Lot de transfert = 1 p, pour un O.F. de 100 p

- T = 6 minutes 14 secondes -

Fig. 3 : l'influence de la taille des lots sur le délai global

D'autre part, on peut montrer facilement [LAM 93], comme dans le cas d'école de la Fig. 3, que la taille des lots de transfert agit considérablement sur la vitesse des flux et donc sur le délai :

- Un lot de transfert de 1000p, pour un OF de 1000p, conduit à un temps de cycle global de 5 heures.
- Un lot de transfert de 100p, pour un OF de 100p, conduit à un temps de cycle global de 30 minutes.
- Un lot de transfert de 1p, pour un OF de 100p, conduit à un temps de cycle global de 6 minutes 14 secondes.

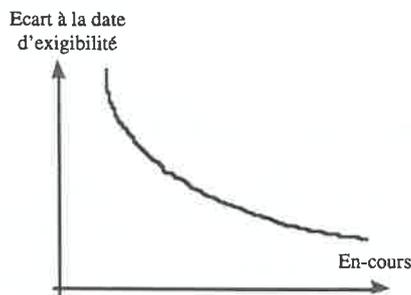


Fig. 4 : relation entre taux de service et en-cours

En allant plus loin dans notre analyse, on peut ajouter que, en théorie (comme le montre la Fig. 4), pour obtenir un taux de service client de 100% avec un délai nul, il conviendrait de stocker de tout, tout le temps! Là encore, il y a conflit d'objectifs. Le gestionnaire doit chercher à minimiser l'écart entre la date de disponibilité des produits et la date d'exigibilité client, tout en gardant le niveau d'en-cours le plus bas possible [LAM 96]. Concrètement, minimiser cet écart conduit à stocker des produits standards et à faire de l'assemblage à la commande. Nous nous trouvons dans le cas des entreprises confrontées au problème du programme directeur de production à plusieurs niveaux. La position du point de découplage sera donc directement liée au délai d'assemblage ou de finition. Dans ce cas, la structure générale des nomenclatures sera de la forme «diabolo» [LAM97].

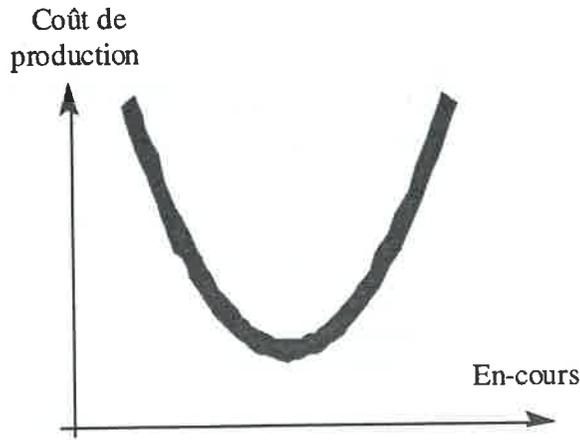


Fig. 5 : impact du niveau d'en-cours sur les coûts de production

Le problème est encore plus compliqué car on demande aussi au gestionnaire de minimiser les coûts de production induits. La Fig. 5 montre que des en-cours très bas risquent de conduire à des coûts globaux de production élevés (et ce même si l'organisation est gérée suivant une « philosophie juste à temps »). En effet, dans ce cas, le taux d'utilisation des postes de charge et de toutes les ressources en général, sera très bas et les coûts de rupture, de changement de série, de lancement... seront élevés. Par ailleurs, le moindre aléa risque de rendre encore plus probables les retards à la livraison ... Les coûts sont également très élevés dans le cas d'en-cours importants et ceci est dû essentiellement aux frais de gestion et aux perturbations que ces stocks induisent à l'atelier. Il convient donc, comme dans la logique de la formule de Wilson, pour le gestionnaire de connaître le volume optimal d'en-cours à supporter.

## 5. Ordonnancer, c'est faire des compromis.

Nous voyons donc bien combien l'ordonnancement conduit à faire des compromis. L'analyse de ces courbes est intéressante car elle montre que la solution n'est pas obligatoirement unique. Il se peut d'ailleurs qu'elle ne soit pas toujours mathématiquement modélisable. Nous sommes dans le cas d'une décision multicritères, mais avec la particularité que ces critères ne sont pas statiques, constants à un instant donné et que certains peuvent porter, d'autre part, sur des contraintes humaines très difficiles à appréhender. Prenons, par exemple, le cas de la taille des lots : celle-ci est déterminée par un optimum économique résultant, en particulier, du temps de changement de série. Ce dernier est souvent interprété comme une constante, en fait il n'en est rien. On a l'habitude de le quantifier par un temps moyen, mais nous devons constater que d'un réglage à l'autre, avec les mêmes instructions et procédures de travail, les variations de durée peuvent être importantes, ne serait-ce qu'à cause d'un changement de réglage (ou d'un changement de « forme » de ce réglage !).

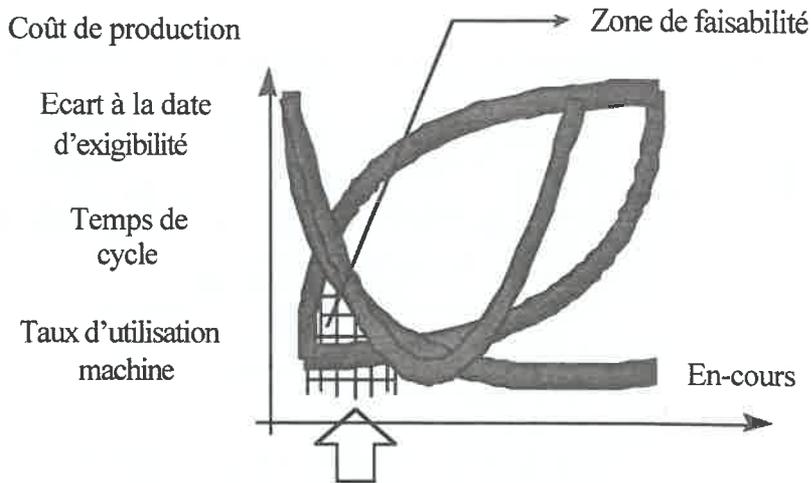


Fig. 6 : le compromis dans la décision

La Fig. 6 nous montre qu'il existe une « zone de compromis » induisant une situation intéressante pour les différents critères liés à la prise de décision. Le gestionnaire devant prendre sa décision très vite (sinon il risque de s'écarter de la réalité), il n'est guère important d'être très précis dans ses calculs qui sont de toute façon faux par rapport aux données réelles à l'instant considéré à l'atelier. Il vaut mieux qu'il soit « approximativement exact », mais très rapide. Cette « zone de compromis », ensemble des « lieux » des intersections possibles de ces courbes, est en fait une zone théorique qu'il convient de visualiser grâce à l'indicateur « en-cours » que l'on mesurerait lors de simulations dynamiques réalisées informatiquement.

En effet, entre deux régénérations de programme directeur de production, les objectifs de réactivité imposent des réordonnements de la « liasse d'OF » restants afin que ceux-ci répondent au mieux à la réalité, afin qu'ils prennent en compte aussi bien les modifications détaillées des capacités des ressources que la dynamique des pièces sur les postes de charge (comme nous l'avons dit précédemment).

Pour répondre à cette problématique, nous avons, dans le cadre d'une recherche appliquée en site industriel<sup>31</sup>, développé un outil complétant les fonctionnalités d'un système MRP2. Cet outil remplit trois fonctions essentielles : la première consiste à dynamiser les démarches, sur poste de travail, induisant une augmentation de la capacité et de l'efficacité, la deuxième permet une parfaite connaissance des événements constituant le quotidien sur ce poste de travail [THO 93] et enfin, la troisième est une interface entre MRP2 et pilotage d'atelier qui utilise la simulation discrète et qui permet de proposer des réordonnements qui prennent en compte la dynamique des pièces.

L'usage montre que pour répondre réellement à ces objectifs de réactivité, l'outil présenté doit être extrêmement souple, facile et rapide d'emploi. L'horizon étant nécessairement de très court terme, le volume du « portefeuille d'OF » qu'il devra considérer pour les réordonnements sera toujours faible (par rapport à celui de l'ordonnement prédictif), ce qui permet effectivement d'être rapide dans les simulations de replanification.

<sup>31</sup> A.Thomas, R. Guimaraes, « Productivité et réactivité imposent la connaissance et la vision dynamique des événements à l'atelier » - Congrès international de génie industriel de Montréal - 1995.

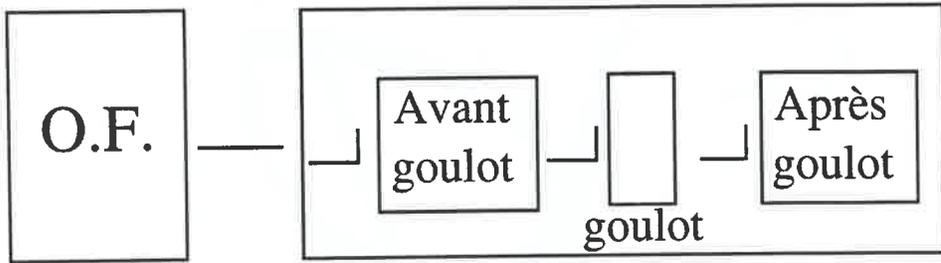


Fig. 7 : le modèle primaire simplifié

Cependant, il ne faut pas que le temps passé à créer le modèle du parc machines au niveau du logiciel de simulation dynamique de flux, ni même que le temps passé à réaliser ces simulations soient pénalisants. Aussi nous avons posé comme hypothèse qu'il existait *dans ce contexte*, un modèle générique (le modèle primaire simplifié - fig.7) représentatif de tout flux résultant d'une gamme de fabrication.<sup>32</sup>

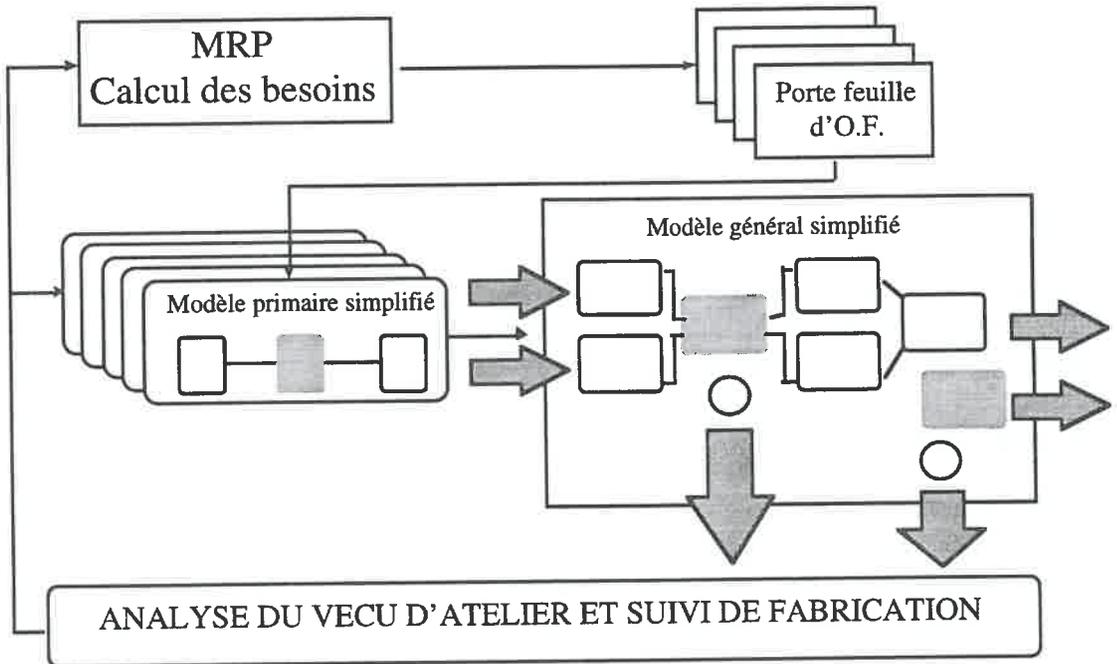


Fig. 8 : le modèle général de simulation

Ainsi tout OF utiliserait le même modèle constitué de trois entités : au centre la machine contrainte de capacité pour cette gamme, en amont le « bloc avant-goulot » et en aval, le « bloc après-goulot », chacune de ces deux dernières entités pouvant représenter un ou plusieurs postes de charge. Comme nous l'avons dit précédemment, le « portefeuille d'OF » à réordonnancer ne comporte que peu d'OF, ainsi le modèle général simplifié portant sur l'horizon à traiter ne sera construit qu'à partir d'un nombre restreint de modèles primaires (fig.8). Nous avons pu montrer [THO 96], mais des travaux en cours cherchent à valider l'hypothèse que les gains de temps en construction de modèle et en simulation sont

<sup>32</sup> Phillip Marris. « Le management par les contraintes », Editions d'organisation, 1994.

véritablement significatifs, d'une part, et que l'erreur induite par l'utilisation de ce modèle simplifié est négligeable, à savoir que le résultat d'ordonnement proposé reste à l'intérieur de cette « zone de faisabilité » que nous pouvons visualiser grâce à l'indicateur « en-cours », d'autre part.

## 6. Conclusion

En fait, les critères de décision que nous avons cités, la politique de stock, le taux de service client cible, les coûts internes résultants, les objectifs de délais et le taux d'utilisation des postes de charge ne doivent pas être des données statiques. Ils doivent donc être issus d'un réseau d'indicateurs de pilotage de la production et ainsi être mis à jour en temps réel, afin de faire évoluer en permanence la zone de faisabilité. Ce qui conduit alors à penser des systèmes de gestion industrielle intégrés permettant de suivre le vécu en production en temps réel, mais aussi d'analyser dynamiquement l'impact des événements de l'atelier dans les ordonnancements quotidiens. Car nous ne devons pas perdre de vue que nous sommes dans le champ de *l'ordonnement réactif*, c'est à dire que notre propos concerne l'ensemble des réajustements quotidiens que le gestionnaire est amené à faire pour atteindre ses objectifs de flexibilité.

Pour engager les ressources de façon optimale tout en respectant les objectifs de production et les délais de livraison, quels que soient les aléas, les progiciels d'ordonnement ont évolué pour devenir des outils d'aide à la décision réel. L'objectif est de répondre aux multitudes de questions posées sur le terrain :

- Comment prendre en compte, dès la constitution des ordres de fabrication, l'ensemble des contraintes de fabrication ?
- Comment conserver les liens entre différents niveaux de semi-finis et par la même, limiter les stocks intermédiaires et propager les décalages en amont et en aval?
- Comment insérer une nouvelle commande en remettant à jour automatiquement l'affectation des semi-finis ou des sous-ensembles ?
- Comment identifier les commandes ou les ordres de fabrication touchés par un retard d'approvisionnement et prendre rapidement les décisions qui s'imposent ?

L'objectif est de renforcer de façon progressive les fonctions de calcul par des fonctions d'optimisation et d'aide à la décision. Outre une grande rapidité d'exécution, celles-ci doivent offrir de multiples possibilités de simulation, de comparaison et de modification interactives.

## 7. Bibliographie

- BEN 87 J. Bénassy - La gestion de production - Hermès - 1987.
- FRA 96 J. Fraser - « Scheduling : a question of balance » - APICS The performance advantage - 1996.
- LAM 87 P. Lamy - Ordonnement et gestion de production - Hermès - 1987.
- MAR 94 P. Marris. « Le management par les contraintes », Editions d'organisation, 1994.
- ROD 94 P. Roder - « Visibility in the key scheduling success » - APICS-Planning and scheduling - 1994.

- THO 93 A. Thomas - « La connaissance du vécu en atelier de production » - Thèse INPL - Nancy 1993.
- LAM 93 A. Thomas, M. Barth, D. Karcher, S. Lamouri, A. Thomas - MRP par l'exemple - CIPE - 1993.
- THO 95 A. Thomas et P. Martin - « Production reporting a knowledge base for the production and quality management » - Actes IEPMSS Conference - Marrakech - 1995.
- THO 95 A. Thomas et R. Guimareas - « Productivité et réactivité imposent la connaissance et la vision dynamique des événements à l'atelier » - Actes congrès international de génie industriel - Montréal - 1995.
- [THO 96] - A. Thomas et R. Guimareas - « Pilotage d'atelier et réordonnement dynamique » - Cahier des CPIM - 3ème trim. 1996.
- VOL 92 Vollmann, Berry and Whybark - Manufacturing planning and control system - Business One Irwin - 1992.
- WIL 96 B. Williams - « Leveraging information systems for enhanced productivity » - APICS The performance advantage - 1996.
- LAM 96 S. Lamouri, D. H. Blacklock, G. Cotonnec. L'assemblage complexe sans manquant. Comment augmenter la variété des produits finis tout en diminuant les coûts et les stocks grâce à l'approche CDF ? Présentation d'un cas d'application. Revue logistique et management. Publication de l'ISLI. Volume 4 n° 2, Janvier 1996.
- LAM 97 S. Lamouri, A. Thomas The two level master production schedule and planning bills in a just in time MRP context. Proposition pour le congrès Furcam, Lyon 1997.