

FONCTION ORDONNANCEMENT AU SEIN D'UN SYSTEME DE GESTION DE PRODUCTION « ETUDE D'UN CAS »

Mohsen Akrouf et Faouzi Masmoudi

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, B.P. W, 3038 Sfax, Tunisie
mohsen.akrouf@enis.rnu.tn

(Received 15 October 2007 - Accepted 6 April 2009)

RESUME

Cet article présente la fonction ordonnancement au sein du système de gestion de la production. Après une recherche bibliographique concernant les problèmes d'ordonnancement, on présente un algorithme d'ordonnancement d'une méthode appliquée dans l'industrie de fabrication sérielle. Cette méthode a l'avantage d'être simple et facile à mettre en œuvre : elle peut traiter deux types de jalonnement (au plus tôt et au plus tard), et permet d'établir le diagramme de Gantt et donc de planifier les tâches et de répartir la charge sur les différents postes de transformation.

Mots clés : GPAO, ordonnancement, planification, diagramme de Gantt

ABSTRACT

This article presents the function scheduling within the system of production control. It describes a library search concerning the scheduling problems. Then, it presents an algorithm of scheduling of a method really applied in industry. This method has the advantage of being simple and easy to implement. It can treat two types of planning : at the earliest and at the latest. It establishes the Gantt diagram and organizes the work in the factory by distributing the load on the various working stations.

Keywords: production management, scheduling, planning, Gantt diagram

INTRODUCTION

Aujourd'hui, la fonction Production est l'une des fonctions importantes de l'entreprise, dont l'objectif est de produire des biens et des services, afin de dégager une rémunération du capital engagé, qui pourra être ou non réaffecté à de nouveaux investissements.

L'amélioration des performances de l'entreprise est tributaire des méthodes d'organisation et d'exploitation des ressources dont elle dispose. C'est pourquoi, une bonne gestion de production est aujourd'hui une nécessité de plus en plus préoccupante pour les entreprises : bien gérer une entreprise, comme bien gérer la production, c'est trouver une solution admissible par rapport aux objectifs fixés, tout en réglant un ensemble de conflits.

D'autre part, en raison de l'évolution des exigences du marché qui se traduisent par une diversification des produits manufacturés, une réduction des délais de fabrication, une diminution des prix, il est indéniable que pour maîtriser ces contraintes, une aide informatique s'avère nécessaire afin de confronter la diversité des informations à traiter et des problèmes à résoudre.

De plus, pour faire face à la mondialisation de l'enjeu économique, les industriels doivent être compétents et proposer les prix les plus bas. Une diminution des coûts de production est donc fondamentale pour atteindre cet objectif. Dans ce sens, l'implantation cellulaire des systèmes de production manufacturière, l'optimisation des stocks intermédiaires, une meilleure répartition du travail sur les machines et une réactivité accrue face aux perturbations. Tout cela contribue à réduire directement les coûts.

L'informatique permet d'avoir un outil d'aide à la décision et aussi aux planifications de la production.

Cette planification est d'autant plus efficace que l'algorithme d'ordonnement qu'elle utilise est performant. Le but étant d'atteindre un ordonnancement optimal qui répartit au mieux la charge de travail et tient compte des diverses contraintes de la production (Akrouf, 2001).

LE SYSTEME DE PRODUCTION

Dans une entreprise manufacturière, le système de production rassemble tous les moyens permettant de donner une valeur ajoutée aux produits ou aux services. Cette transformation est commandée par un système de gestion qui doit respecter un ensemble de contraintes en vue d'atteindre des objectifs définis (Artigues, 1997).

Les systèmes de production peuvent être classifiés selon la nature et le volume des produits fabriqués.

La production unitaire

Elle consiste à produire un seul produit sur commande du client. Il n'existe pas de stock de produit fini. Une fois fabriqué, le produit est directement livré au client. Dans ce mode de production, les produits fabriqués répondent à des besoins précis manifestés par les clients. Le mode de production unitaire est pratiqué dans la production de certains types de produits :

- très onéreux (avions, locomotives, navires...)
- ayant des caractéristiques bien définies qui répondent à un besoin précis (meubles...)
- complexes (montage d'usine ou d'atelier...).

Dans ce type de structure, le problème majeur consiste à réaliser le travail demandé avec un coût compétitif et en respectant les délais.

La production en série

Elle consiste à fabriquer un grand nombre d'articles identiques dont la conception et les caractéristiques ont déjà été définitivement établies. Le processus de fabrication est

découpé en opérations élémentaires et répétitives permettant de produire plusieurs fois le même article. La production en série est une production pour le stock. La dimension de la série dépend de deux facteurs : la technologie et la demande.

Il existe deux types de production en série :

● **La production en grande série :**

Les quantités à produire sont importantes et la diversité des produits est limitée. Dans ce cas l'utilisation de chaînes de fabrication est très rentable. Lorsque la chaîne est équilibrée, le taux d'utilisation des ressources est élevé et le temps d'attente par les produits en cours de fabrication est généralement faible.

● **La production en petite et moyenne série :**

C'est le cas de la plupart des Petites et Moyennes Entreprises (PME) pour lesquelles la diversité des produits et le faible volume des demandes ne permettent pas une spécialisation des moyens de production. L'ordonnancement, dans ce cas, joue un rôle primordial pour optimiser l'utilisation des ressources et minimiser les pertes de temps.

La production continue

La différence entre la production en série et la production continue est d'ordre technologique. Dans la première, le produit passe, pendant sa fabrication, par des opérations distinctes séparées les unes des autres. Par contre, dans la production continue, le produit circule en flux continu et subit des transformations physiques et/ou chimiques. Ce type de systèmes concerne surtout les industries dont la production nécessite la manipulation de matières liquides ou gazeuses (produit pétrolier, semoule, ...)

La mise en place d'une GPAO diffère d'un mode de production à l'autre. C'est pourquoi, le choix d'un logiciel de GPAO n'est pas une chose simple mais plutôt une tâche difficile qu'il faut bien étudier afin de choisir le logiciel qui répond parfaitement aux besoins et aux activités de l'entreprise.

LES PROBLEMES D'ORDONNANCEMENT

Dans le système de production, le problème d'ordonnancement consiste à organiser dans le temps l'exécution d'opérations interdépendantes à l'aide de ressources disponibles en quantités limitées pour réaliser un plan de production (Erschler *et al.*, 1992)

En se basant sur les concepts de tâche, ressource, contrainte et objectif, l'ordonnancement peut être défini :

« *Ordonnancer un ensemble de tâches, c'est programmer leur exécution en leur allouant les ressources requises et en fixant leur date de début* » (Carlier *et al.*, 1993)

Les tâches sont soumises à des contraintes et l'ordonnancement, c'est à dire une solution au problème ainsi défini, est évalué vis-à-vis d'un ou de plusieurs objectifs à atteindre. L'objectif le plus souvent rencontré dans la littérature est l'obtention d'un ordonnancement optimisant un certain nombre de critères (Mesghouni, 1999).

La détermination de ces objectifs s'avère souvent extrêmement délicate. En effet, on se trouve généralement en présence d'un ensemble d'objectifs plus ou moins contradictoires et dont l'importance relative est difficile à apprécier. Parmi ces critères, on peut citer :

Le coût et la durée de réalisation.
Le respect du délai d'exécution.
La quantité de moyens nécessaires.
La quantité de travail en attente.
Le temps d'immobilisation des moyens.

Ces objectifs peuvent correspondre à des exigences quantitatives (valeurs à atteindre ou à ne pas dépasser) et se présentent sous forme de contraintes à respecter, ou bien à des exigences qualitatives s'exprimant sous forme de critères à optimiser. Parmi les critères les plus utilisés pour évaluer la qualité d'un ordonnancement obtenu, on distingue (Carlier & Chrétienne, 1988) :

- **Durée totale (Makespan)** : La durée totale de l'ordonnancement est égale à la différence entre la date d'achèvement de la tâche la plus tardive et la date de départ de la première tâche. La minimisation de cette durée est le critère le plus souvent rencontré puisque ça conduit inévitablement à une utilisation efficace des ressources.

- **Respect des dates au plus tard** : Dans beaucoup de problèmes réels, le respect au mieux des délais s'obtient en minimisant soit le plus grand retard soit la somme des retards.

- **Minimisation des coûts** : Ce genre de critère peut s'exprimer sous des formes très variées telles que, par exemple, la minimisation des stocks d'encours.

Pour l'étude de cas présenté dans cet article, on va choisir comme critère d'ordonnancement principalement la minimisation de la durée totale, ceci nécessite un meilleur équilibrage des différents postes de charge et leur assure un taux d'occupation élevé tout en réduisant les files d'attente.

On distingue deux types d'ordonnancement :

- **Ordonnancement prévisionnel**

Il a pour but de générer un ordonnancement optimal minimisant un critère donné ou une combinaison de plusieurs critères. Les problèmes d'ordonnancement ainsi définis sont des problèmes d'optimisation combinatoire difficiles à résoudre au moyen d'un algorithme polynomial (Lawler *et al.*, 1989). La solution recherchée peut être obtenue soit par des méthodes exactes (Programmation linéaire (Portmann & Bolzoni, 1994) ou dynamiques (Shrage & Baker, 1978 ; Bellman *et al.*, 1982)) utilisées pour traiter des problèmes de très petite taille (exemple : problème à une machine), soit par des méthodes heuristiques (Lévy, 1996) se basant sur des algorithmes approchés souvent polynomiaux et qui permettent de résoudre des problèmes complexes. Les heuristiques ne garantissent pas l'obtention de la solution optimale, mais fournissent, dans un laps de temps raisonnable et à un coût acceptable, une solution dont les performances sont en général assez bonnes et un ordonnancement pour lequel la valeur trouvée est proche de la valeur optimale.

- **Ordonnancement réactif**

C'est un système d'ordonnancement qui inclue une méthode pour réagir en temps réel face aux aléas (Lamothe, 1996). Ces aléas peuvent être internes survenant à l'intérieur de l'atelier (pannes de ressources, absence de personnel, ...) ou externes provenant de son environnement (retard d'approvisionnement, arrivée imprévue d'un ordre de fabrication, ...).

ETUDE D'UN CAS REEL D'ORDONNANCEMENT

On va maintenant décrire une méthode d'ordonnancement qui a été appliquée dans une PME spécialisée en mécanique de décolletage. Cette méthode a montré d'excellents résultats vu sa simplicité d'une part et son efficacité de l'autre.

La production de cette entreprise est de petite et moyenne série et le problème d'ordonnancement est de type "job-shop" (Carlier & Pinson, 1989) puisque l'ordre de passage sur les postes de transformation n'étant pas forcément le même pour tous les composants.

Cependant, il est nécessaire de noter que le problème traité doit respecter l'hypothèse suivante : pour une tâche donnée, le lot doit s'effectuer intégralement et sans interruption sur chaque poste de transformation, ceci est dans le but de limiter les temps de réglage.

On propose, dans ce qui suit, les éléments de base de l'algorithme d'ordonnancement utilisé.

On distingue deux types de jalonnement : au plus tôt et au plus tard.

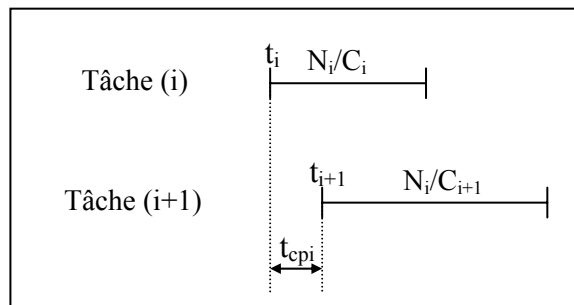
Premier type : jalonnement au plus tôt

La planification du programme de production est réalisée à partir de la date de disponibilité des postes de travail. Le diagramme de Gantt est établi à partir de la première tâche sur le premier poste, puis la suivante et ainsi de suite. Il est ainsi rempli de gauche à droite selon l'ordre chronologique des opérations de transformation.

Supposons que la tâche (i) commence sur le poste P_i à l'instant t_i , le problème est de connaître le moment auquel va commencer la tâche suivante (i+1) sur le poste P_{i+1} .

Deux cas de figure peuvent se présenter :

Le poste P_i est plus rapide que le poste P_{i+1} : ($C_i > C_{i+1}$)



Dans ce cas, l'instant de démarrage de la tâche (i+1) sera :

$$t_{i+1} = \max (t_i + t_{cpi} , disp_D(i+1))$$

avec :

t_{cpi} : temps de changement de poste (de P_i vers P_{i+1}).

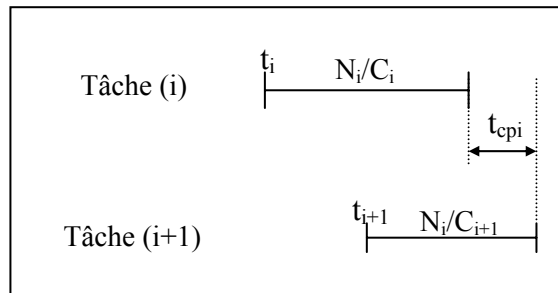
$disp_D(i+1)$: Instant de disponibilité du poste P_{i+1} juste après l'exécution de toutes ses tâches antérieures (disponibilité à droite).

Il s'agit là de respecter deux contraintes :

- La première $t_{i+1} \geq t_i + t_{cpi}$ est liée à la relation d'antériorité qui existe entre la tâche (i) et la tâche (i+1).

- La seconde $t_{i+1} \geq disp_D(i+1)$ est liée à la disponibilité du poste de travail P_{i+1} pour pouvoir exécuter la tâche (i+1).

Le poste P_i est plus lent que le poste P_{i+1} : ($C_i < C_{i+1}$)



Dans ce cas, le démarrage de la tâche suivante (i+1) doit tenir compte du retard que va cumuler le poste P_i . Le poste P_{i+1} doit commencer un peu plus tard pour pouvoir fonctionner de façon continue et sans interruption. On a alors :

$$t_{i+1} = \max (t_i + t_{cpi} + N_i/C_i - N_i/C_{i+1}, disp_D(i+1))$$

avec :

N_i : nombre de pièces à produire pendant la tâche (i).

C_i : cadence (ou vitesse de réalisation de la tâche (i) sur le poste de travail).

Le rapport $D_i = N_i / C_i$ n'est autre que la durée d'occupation effective du poste de travail P_i pour l'exécution de la tâche (i).

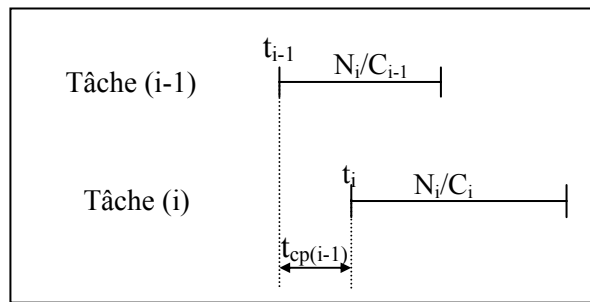
On suppose ici que le nombre de pièces à produire N_{i+1} est sensiblement égal à N_i car le taux de rebut est pratiquement négligeable entre les deux postes de travail.

Deuxième type : jalonnement au plus tard

Cette fois ci, la planification du programme de production est réalisée à partir de la date de livraison souhaitée de l'article ou de son stockage au magasin des produits finis. Le diagramme de Gantt est établi à partir de la dernière tâche sur le dernier poste (banc d'essai ou poste de montage), puis l'avant dernière et ainsi de suite. Il est ainsi rempli de droite à gauche dans le sens contraire à l'ordre chronologique.

Connaissant l'instant de démarrage t_i de la tâche (i) sur le poste P_i . On cherche à savoir le moment de démarrage (t_{i-1}) de la tâche qui la précède (i-1) sur le poste P_{i-1} . Deux cas de figure peuvent également se présenter :

Le poste P_i est plus lent que le poste P_{i-1} : ($C_i < C_{i-1}$)



Dans ce cas, l'instant de démarrage de la tâche précédente (i-1) sera :

$$t_{i-1} = \min (t_i - t_{cp(i-1)}, \text{disp}_G(i-1) - N_i / C_{i-1})$$

avec :

$t_{cp(i-1)}$: temps de changement de poste (de P_{i-1} vers P_i).

$\text{disp}_G(i-1)$: instant de disponibilité du poste P_{i-1} juste avant l'exécution de toutes ses tâches postérieures (disponibilité à gauche).

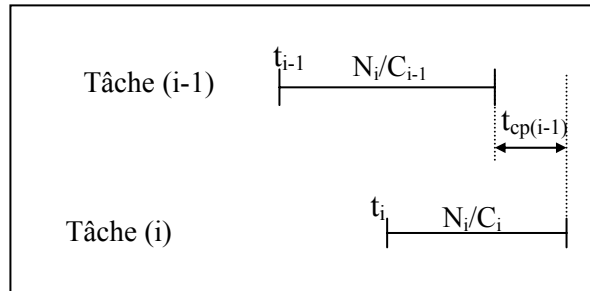
Il s'agit là de respecter deux contraintes :

- La première $t_{i-1} \leq t_i - t_{cp(i-1)}$ est liée à la relation d'antériorité qui existe entre la tâche (i-1) et la tâche (i).
- La seconde $t_{i-1} \leq \text{disp}_G(i-1) - N_i / C_{i-1}$ est liée à la disponibilité du poste de travail P_{i-1} pour pouvoir exécuter la tâche (i-1).

Le poste P_i est plus rapide que le poste P_{i-1} : ($C_i > C_{i-1}$)

Dans ce cas, la tâche précédente (i-1) doit commencer plus tôt pour que le poste P_i puisse fonctionner de façon continue et sans interruption. On a alors :

$$t_{i-1} = \min (t_i - t_{cp(i-1)} + N_i / C_i - N_i / C_{i-1}, \text{disp}_G(i-1) - N_i / C_{i-1})$$



Exemple d'application

Afin d'illustrer le modèle algorithmique proposé précédemment, on se propose de traiter un exemple d'ordonnancement simple (2 composants et 7 postes de travail).

Il s'agit de planifier la fabrication et l'assemblage de 1500 unités d'un produit fini composé de deux pièces A et B selon les gammes opératoires du tableau ci dessous.

On présentera les diagrammes de Gantt correspondants aux deux types de jalonnement : au plus tôt et au plus tard.

Afin de traiter ce cas, on prend les hypothèses suivantes :

- On suppose qu'on travaille 8 heures/jour.
- La pièce A est prioritaire devant la pièce B.
- Les temps de réglage sont pris en compte dans les cadences.
- Les temps de changement de poste sont tous identiques et égaux à 1 heure.
- La durée d'occupation du poste, définie comme étant le rapport entre la quantité à produire et la cadence du poste de travail, doit être un entier, et si ce n'est pas le cas, on arrondira la durée à la valeur entière par excès.

Critiques et améliorations de la méthode

La méthode détaillée précédemment est simplifiée. Elle ne tient pas compte, par exemple, du temps de réglage nécessaire en début de chaque tâche ni des aléas de production (arrêt, panne, ...).

Toutefois, pour pallier à ce problème on a introduit dans le modèle un facteur correctif μ qui sert à réviser la cadence d'une tâche donnée. La cadence C_i qui sera prise en compte dans les calculs est égale à :

$$C_i = \mu * C'_i$$

avec :

$$0 < \mu \leq 1$$

C'_i : cadence donnée par le constructeur machine (cadence théorique)

Cette correction de la cadence permettra d'absorber les écarts dus aux arrêts imprévus cités précédemment. Ce facteur μ sera choisi d'autant plus faible que les arrêts sont fréquents et que les temps de réglage sont non contrôlés.

Composant	Ordre d'exécution	Opération	Poste de travail	Cadence pièces/heure	Durée d'occupation
1500 Pièces A	1°	Tronçonnage	TRO	220 p/h	7 h
	2°	Estampage	PRS	110 p/h	14 h
	3°	Ebavurage	EBV	200 p/h	8 h
	4°	Usinage	TRF1	130 p/h	12 h
1500 Pièces B	1°	Tronçonnage	TRO	150 p/h	10 h
	2°	Estampage	PRS	260 p/h	6 h
	3°	Grenailage	GRN	140 p/h	11 h
	4°	Usinage	TRF2	200 p/h	8 h
A + B	-	Assemblage	ASM	150 p/h	10 h

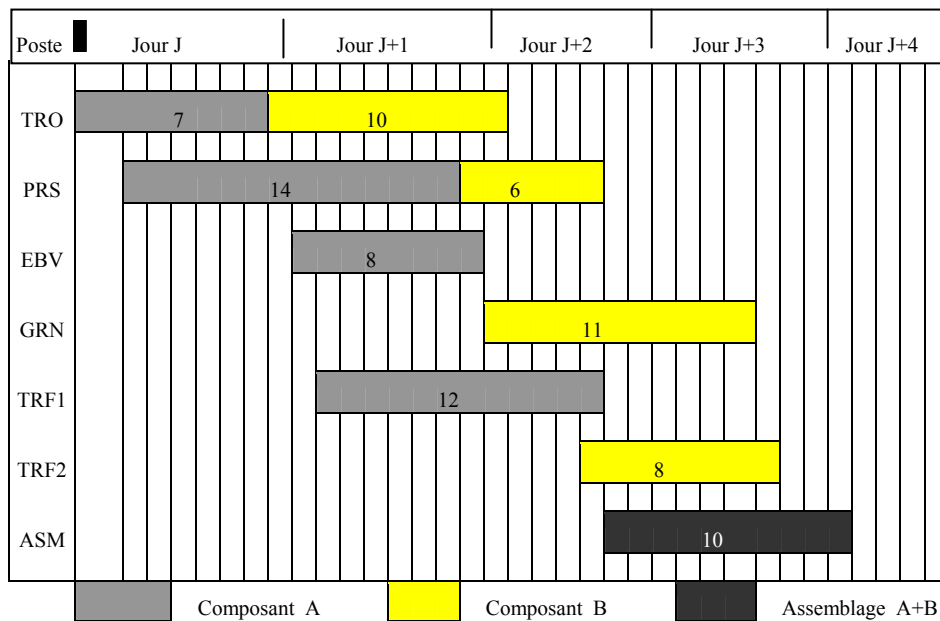


Figure 1. Diagramme de Gantt obtenu avec un jalonnement au plus tôt.

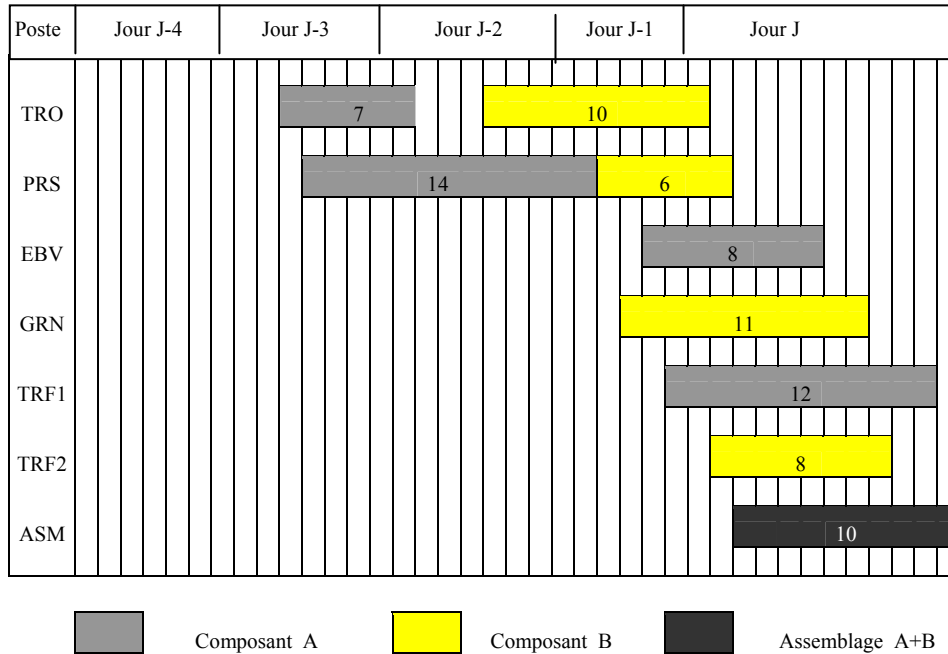


Figure 2. Diagramme de Gantt obtenu avec un jalonnement au plus tard.

CONCLUSION

Partant d’une expérience vécue réellement dans l’industrie, on peut affirmer que la mise en place d’un logiciel de GPAO n’est pas une simple affaire, car ceci nécessite une parfaite organisation et surtout un grand effort pour l’intégration de cet outil dans l’atelier.

Dans ce cas, le choix d’un logiciel ultra sophistiqué, dès le départ, n’est pas conseillé. Sa complexité sera plutôt un handicap pour son utilisation et son abandon sera inévitable.

On peut donc commencer à gérer sa production par un *simple logiciel* basé sur la méthode décrite précédemment, par la suite, introduire dans ce logiciel d’autres paramètres pouvant traiter des situations bien plus complexes.

La méthode de jalonnement présentée dans cet article est certes simpliste, mais elle est très facile à mettre en oeuvre et ne nécessite pas des compétences poussées en gestion de production pour pouvoir l’appliquer. Elle constitue une première approche pour le problème d’ordonnancement souvent trop complexe et fastidieux à mettre en place, ce qui fait fuir de nombreuses PME qui préfèrent piloter leur production au jour le jour et gérer leur temps manuellement.

REFERENCES

- Akrout, M. 2001. Mise en place d'une G.P.A.O. 2^{ème} Colloque International Conception et Production Intégrées, CPI 2001, article 77, Fès, Maroc, 24-26 Octobre .
- Artigues, C. 1997. *Ordonnancement en temps réel d'ateliers avec temps de préparation des ressources*. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS.
- Bellman, R., Esogbue, A.O., Nabeshima, I. 1982. *Mathematical aspects of scheduling and applications*. Pergamon press.
- Carlier, J., Chrétienne, P. 1988. *Problèmes d'ordonnancement: modélisation / complexité / algorithmes*. Edition Masson, Paris, France.
- Carlier, J., Pinson, E. 1989. An algorithm for solving the job-shop problem. *Management Science*, 35: 164-176.
- Carlier, J., Chrétienne, P., Erschler, J., Hanen, C., Lopez, P., Munier, A., Pinson, E., Portmann, M.C., Prins, C., Proust, C. et Villon, P. 1993. GOTHa, (Groupe de Recherche en Ordonnancement Théorique et Appliqué). Les problèmes d'ordonnancement. *RAIRO RO*, 27 (1) : 77-150.
- Erschler, J., Fontan, G., Roubellat, F. 1992. *Encyclopédie du management - Ordonnancement en ateliers spécialisés*. Helfer et Orsoni, Vuibert, Paris, 2 : 208-229.
- Lamothe, J. 1996. *Une approche pour l'ordonnancement dynamique d'un atelier de traitement de surface*. Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, Toulouse.
- Lawler, E.L. , Lenstra, J.L. , Rinnooy Kan, A.H.G. , Schmoys, D.B. 1989. *Sequencing and scheduling : algorithms and complexity*. Rapport BS-R8909, Centre for Mathematics and Computer Science, Amsterdam.
- Lévy, M.L. 1996. *Méthodes par décomposition temporelle et problèmes d'ordonnancement*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Mesghouni, K. 1999. *Applications des algorithmes évolutionnistes dans les problèmes d'optimisation en ordonnancement de la production*. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, Laboratoire d'Automatique et d'Informatique Industrielle de Lille.
- Portmann, M.C., Bolzoni, V. 1994. Specific developments of general software adaptation in order to solve some scheduling or production manufacturing problems. *4th International Workshop on Project Management and Scheduling*, Leuven, pp. 192-197.
- Shrage, L., Baker, K. 1978. Dynamic programming solution of sequencing problems with precedence constraints. *Operations Research*, 26: 444-449.