

# La sélection des règles de priorité en fonction des critères de performances d'un FMS

Ahmed HASSAM, Talib Hicham BETAOUAF, Abdellah BENGHALEM et Zaki SARI  
Université Aboubekr belkaïd TLEMEN, PoBox 230, Tel +21343285689. Fax +21343285685.  
a\_hassam@mail.univ-tlemcen.dz  
technoweb@hotmail.com  
abdellah\_109@yahoo.fr  
z\_sari@mail.univ-tlemcen.dz

**Résumé :** La gestion des files d'attente est un processus vital à l'optimisation des performances d'un système flexible de production. Le choix de la règle à appliquer dans cette gestion doit se faire selon le critère désiré. Le principal objectif de notre étude est de donner un aperçu sur la procédure de détermination des règles à utiliser pour gérer les jobs dans un système de production. Cette étude permettra de recenser les classements des règles par ordre d'efficacité pour les critères les plus capitaux à l'évaluation de la performance d'un FMS

**Mots clés :** Règles de priorité, Ordonnement, FMS, Simulation.

## I. INTRODUCTION

Dans le contexte de compétition internationale actuel, l'efficacité, c'est-à-dire la capacité de produire un maximum de résultats pour un minimum d'efforts fournis, est devenue une donnée critique de l'évaluation de la « santé » d'une entreprise, notamment industrielle. L'organisation de la production (et plus particulièrement l'ordonnement des activités) figure incontestablement parmi les paramètres les plus importants qui influencent la performance réalisée.

Mais la performance est difficile à saisir et à maîtriser car multi niveau, multi période, multi acteur, multicritère et liée à de nombreux "facteurs de performance" (innovation, coopération, collaboration, management des connaissances, disponibilité, réactivité et flexibilité des systèmes opératifs et décisionnels). Elle doit donc être appréhendée dans sa globalité.

Cette démarche globale doit être menée sur l'ensemble des phases du cycle de vie d'un produit ou service : la conception, la réalisation (qui coïncide avec l'exploitation du système de production), l'usage et le recyclage dans le cas de produits.

Toutefois, il est indispensable de pouvoir estimer et comparer les conséquences des décisions prises, par conséquent de disposer des modèles, des produits, des systèmes et des différents processus mis en jeu au sein de ces systèmes et entre différents systèmes. Ces modèles doivent être capables d'intégrer les différents points de

vue, en particulier dès la phase de conception et lors de l'exploitation.

## II. ETAT DE L'ART

Dans un horizon à court terme, les ressources sur lesquelles on exécute la production interviennent de manière plus détaillée. Un ordonnancement des activités, correspondant aux lots de production, doit fournir les dates de démarrage et d'arrêt de la production de chaque matériau, ainsi que la ou les ressources nécessaires à cette production.

Cette solution doit d'une part respecter avec exactitude les contraintes de capacité des ressources et satisfaire au mieux les dates de livraison des demandes et d'autre part, dans le cas d'une approche intégrée, être en accord avec les décisions prises par la planification.

On peut définir aussi l'ordonnement par la programmation dans le temps de l'exécution d'une série de tâches (activités, opérations) sur un ensemble de ressources physiques (humaines et techniques), en cherchant à optimiser certains critères, financiers ou technologiques, et en respectant les contraintes de fabrication et d'organisation [1][2]. Les ordres de fabrication (OF), suggérés par le calcul des besoins, représentent chacun une requête pour fabriquer une quantité déterminée de pièces pour une date donnée. Ils constituent les données d'entrée de l'ordonnement et permettent de définir, au moyen des gammes de fabrication, l'ensemble des tâches que la fonction ordonnancement doit planifier. Une tâche est localisée dans le temps par une date de début et une durée ou une date de fin. Elle utilise une ou plusieurs ressources. Elle est dite préemptive si elle peut être interrompue, ou non préemptive si elle ne peut pas être interrompue. En sortie de la fonction ordonnancement, on obtient un planning, ou ordonnancement, qui restitue l'affectation des tâches fournies en entrée à des dates précises pour des durées déterminées sur les différentes ressources. Ce planning cherche à satisfaire des objectifs, en respectant le plus possible des contraintes que nous allons préciser. La fonction ordonnancement est une fonction à court terme,

même si elle est parfois utilisée à moyen terme [2]. Son horizon et sa période sont donc relativement courts. L'horizon d'un ordonnancement est en général d'une à trois semaines, la période varie de deux ou trois jours à une semaine.

Les problèmes d'ordonnancement sont présents dans tous les secteurs d'activités de l'économie depuis l'informatique jusqu'à l'industrie manufacturière. C'est pour cette raison qu'ils ont fait et continuent de faire l'objet de nombreux travaux de recherche [3].

Résoudre un problème d'ordonnancement consiste à ordonnancer (programmer ou planifier), dans le temps l'exécution des tâches en leurs attribuant les ressources nécessaires matérielles ou humaines de manière à satisfaire un ou plusieurs critères préalablement définis, tout en respectant les contraintes de réalisation [1] [4]. Les problèmes d'ordonnancement d'ateliers constituent sûrement pour les entreprises une des difficultés importantes de leur système de gestion et de pilotage. En effet, c'est à ce niveau que doivent être prises en compte les caractéristiques réelles multiples et complexes des ateliers, ainsi que les perturbations, aussi bien internes (panne de machine, absence d'opérateurs), qu'externes (variation de la demande), qui viennent les modifier.

Dans ce type d'ordonnancement, les ressources sont généralement des machines qui ne peuvent réaliser qu'une tâche ou opération à la fois i.e. ressource disjonctive, et chaque travail à ordonnancer concerne un produit ou un lot de produits à fabriquer en respectant une gamme de fabrication. Cette gamme précise un ordre strict entre les opérations qui la composent : on parlera de contraintes de précédence

Le principe est de simuler le fonctionnement de l'atelier. Les opérations sont placées sur les ressources par ordre chronologique. Si, lorsqu'une opération arrive sur une machine, celle-ci n'est pas disponible, la tâche est placée dans une file d'attente. Lorsque la ressource se libère, si la file d'attente comprend plusieurs opérations, on utilise une règle de priorité pour résoudre le conflit. Une règle de priorité est une formule qui associe une valeur à chaque opération d'une file d'attente, calculée en général sur les paramètres de l'opération [5]. L'opération de la file qui sera placée sur la machine est celle dont la valeur est la plus faible ou la plus forte. De très nombreuses règles de priorité existent, utilisant des critères variés [6] [7] [8]. Un grand nombre d'études ont été faites pour essayer de déterminer les effets de ces règles sur l'ordonnancement et leurs performances globales par rapport à quelques critères. Il ressort essentiellement de toutes ces analyses qu'aucune règle ne surpasse les autres sur tous les objets et dans toutes les configurations d'ateliers [7] [9] [10]. Les effets d'une règle de priorité sur l'ordonnancement sont difficile à prévoir car fortement dépendants de l'atelier.

L'approche par files d'attente est très répandue dans les logiciels d'ordonnancement.

Cela est principalement dû au fait que c'est la méthode la plus proche du raisonnement humain face à la résolution d'un problème d'ordonnancement. Elle est très attractive pour les utilisateurs de logiciels d'ordonnancement car ils en comprennent bien le fonctionnement.

### III. MODELISATION DU SYSTEME FLEXIBLE DE PRODUCTION

Dans notre étude nous allons utiliser un modèle très simple d'un atelier Job-Shop déjà utilisé par plusieurs chercheurs pour comparer des règles de priorité. Ce modèle d'atelier Job-Shop est composé de quatre machines identiques et il est caractérisé par les contraintes suivantes :

- Chaque machine comporte une file d'attente et ne peut réaliser qu'une seule opération à la fois.
- Pour chaque pièce entrant dans l'atelier, le nombre d'opérations, compris entre deux et six inclus, suit une loi discrète uniforme.
- Pour chaque pièce entrant dans l'atelier, sa gamme est aléatoire. Les machines sur lesquelles sont réalisées les opérations sont choisies aléatoirement, avec la contrainte suivante : deux opérations consécutives ne peuvent avoir lieu sur la même machine.
- Les durées opératoires sont aléatoires et suivent toutes une distribution exponentielle de moyenne 1. En moyenne, la durée totale des opérations d'un job est de quatre unités de temps.
- Le processus d'arrivée des pièces est modélisé par une loi de Poisson. Du fait des particularités de ce modèle, (nombre de stations, nombre moyen d'opérations, moyenne de la durée totale des opérations), la charge moyenne de l'atelier est égale au taux moyen d'arrivée des pièces.
- Les dates échues sont établies en utilisant la méthode TWK.

Nous allons étudier le comportement du système en appliquant plusieurs règles de priorité (12 règles de priorité) et en mesurant ses performances selon les critères de performances suivants :

- Critère relatif aux temps:
  - Temps de cycle du job : Flow Time (moyenne)
- Critères relatifs aux en-cours :
  - Nombre de pièces dans l'atelier : Work In Process (moyenne)
  - Taux de production : Manufacturing Rate
- Critères relatifs aux dates échues :
  - Pourcentage de jobs en retard : Pourcentage Tardy

### IV. ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Dans cette partie nous présenterons et interpréterons les résultats des tests que nous avons effectué avec le logiciel de simulation ARENA, sur le modèle d'atelier Jobshop défini précédemment.

Nous avons simulé ce système (Jobshop) pour une durée de 50 000 unités de temps. Afin d'avoir des résultats plus ou moins précis, nous choisirons de simuler chaque configuration du système pour dix réplifications.

L'interprétation des résultats nous permettra d'établir une classification des règles de priorité selon leurs efficacités par rapport à chaque critère de performance.

*A. Le temps de séjour moyen:*

Pour tous les cas simulés le temps de cycle moyen est plus court avec la règle SPT, suivie des règles CR/SPT, SRT et MOD pour le cas de charge élevée et celui de charge modérée (voir Fig 1, tableau I et II).

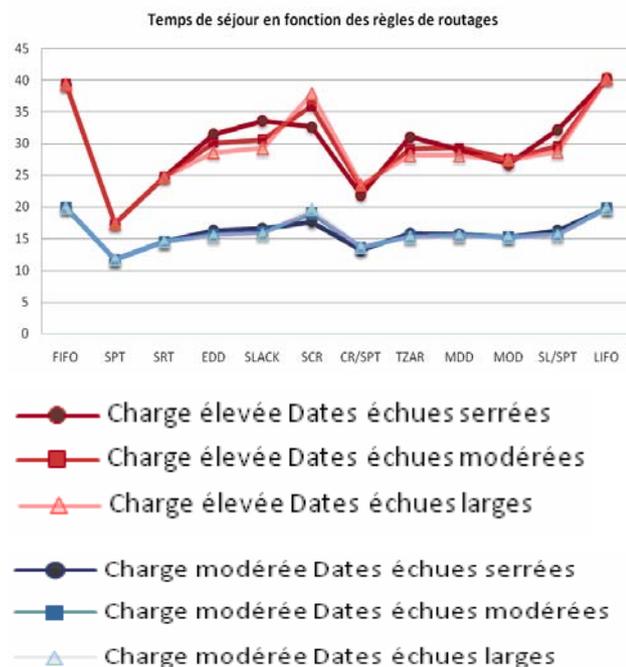


Fig. 1. Le temps de séjour moyen en fonction des règles de priorité.

TABLEAU I. CLASSEMENT DES REGLES DE PRIORITE POUR UN TEMPS DE SEJOUR MOYEN MINIMAL AVEC CHARGE ELEVEE 90%.

Charge élevée 90%		
Dates échues serrées = 30	Dates échues modérées = 50	Dates échues larges = 60
SPT	SPT	SPT
CR/SPT	CR/SPT	CR/SPT
SRT	SRT	SRT
MOD	MOD	MOD
MDD	TZAR	MDD

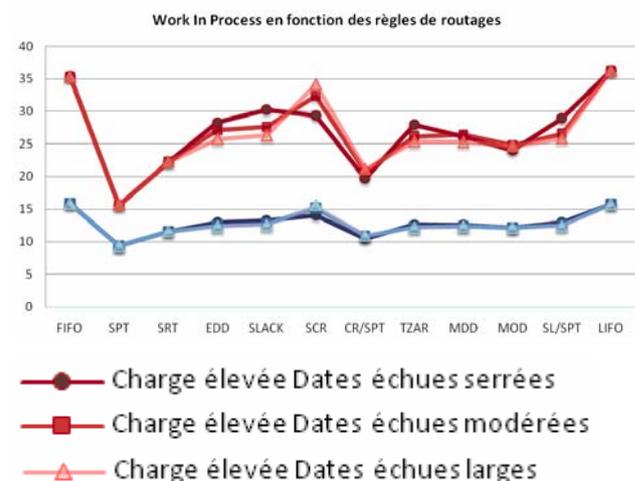
TZAR	MDD	TZAR
EDD	SL/SPT	EDD
SL/SPT	EDD	SL/SPT
SCR	SLACK	SLACK
SLACK	SCR	SCR
FIFO	FIFO	FIFO
LIFO	LIFO	LIFO

TABLEAU II. CLASSEMENT DES REGLES DE PRIORITE POUR UN TEMPS DE SEJOUR MOYEN MINIMAL AVEC CHARGE MODEREE 80%.

Charge modérée 80%		
Dates échues serrées = 20	Dates échues modérées = 30	Dates échues larges = 60
SPT	SPT	SPT
CR/SPT	CR/SPT	CR/SPT
SRT	SRT	SRT
MOD	MOD	MOD
MDD	TZAR	TZAR
TZAR	MDD	EDD
EDD	EDD	MDD
SL/SPT	SL/SPT	SL/SPT
SLACK	SLACK	SLACK
SCR	SCR	SCR
LIFO	LIFO	LIFO
FIFO	FIFO	FIFO

*B. Le Work In Process moyen*

La gestion des files d'attente avec la règle SPT pour les six configurations étudiées nous a permis d'avoir la plus petite moyenne du nombre de pièces dans le système, on peut remarquer aussi que les règles CR/SPT et CRT garde respectivement la deuxième et troisième places dans le classement des différentes règles.



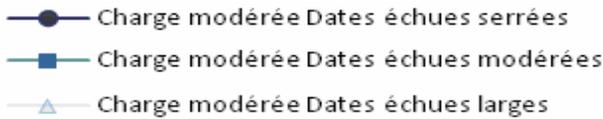


Fig. 2. Le nombre de pieces moyen dans l'atelier en fonction des regles de priorite.

TABLEAU III.

CLASSEMENT DES REGLES DE PRIORITE POUR UN WORK IN PROCESS MOYEN MINIMAL AVEC CHARGE ELEVEE 90%.

Charge élevée 90%		
Dates échues serrées = 30	Dates échues modérées = 50	Dates échues larges = 60
SPT	SPT	SPT
CR/SPT	CR/SPT	CR/SPT
SRT	SRT	SRT
MOD	MOD	MOD
MDD	TZAR	MDD
TZAR	MDD	TZAR
EDD	SL/SPT	EDD
SL/SPT	EDD	SL/SPT
SCR	SLACK	SLACK
SLACK	SCR	SCR
FIFO	FIFO	FIFO
LIFO	LIFO	LIFO

TABLEAU IV.

CLASSEMENT DES REGLES DE PRIORITE POUR UN WORK IN PROCESS MOYEN MINIMAL AVEC CHARGE MODEREE 80%.

Charge modérée 80%		
Dates échues serrées = 20	Dates échues serrées = 30	Dates échues serrées = 60
SPT	SPT	SPT
CR/SPT	CR/SPT	CR/SPT
SRT	SRT	SRT
MOD	MOD	MOD
MDD	TZAR	TZAR
TZAR	MDD	EDD
EDD	EDD	MDD
SL/SPT	SL/SPT	SL/SPT
SLACK	SLACK	SLACK
SCR	SCR	SCR
LIFO	LIFO	LIFO
FIFO	FIFO	FIFO

C. Le taux de production

Comme l'indique les tableaux de classement si dessous, les règles SPT, CR/SPT et SRT ont toujours donné un meilleur taux de production quelque soit les contraintes du système simulé.

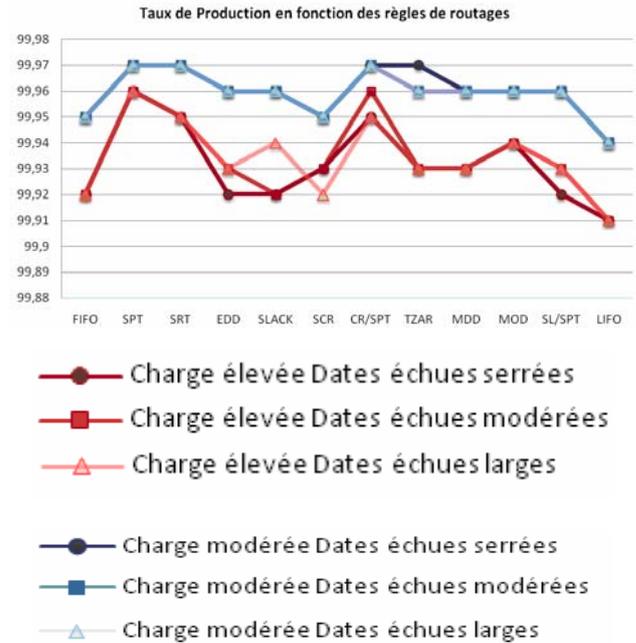


Fig. 3. Le taux de production en fonction des règles de priorité.

TABLEAU V.

CLASSEMENT DES REGLES DE PRIORITE POUR UN TAUX DE PRODUCTION MAXIMAL CHARGE ELEVEE 90%.

Charge élevée 90%		
Dates échues serrées = 30	Dates échues modérées = 50	Dates échues larges = 60
SPT	SPT	SPT
CR/SPT	CR/SPT	CR/SPT
SRT	SRT	SRT
MOD	MOD	MOD
TZAR	TZAR	SLACK
MDD	MDD	TZAR
SCR	SCR	MDD
EDD	EDD	EDD
SL/SPT	SL/SPT	SL/SPT
SLACK	SLACK	SCR
FIFO	FIFO	FIFO
LIFO	LIFO	LIFO

TABLEAU VI.

CLASSEMENT DES REGLES DE PRIORITE POUR UN TAUX DE PRODUCTION MAXIMAL CHARGE MODEREE 80%.

Charge modérée 80%		
Dates échues serrées = 20	Dates échues serrées = 30	Dates échues serrées = 60

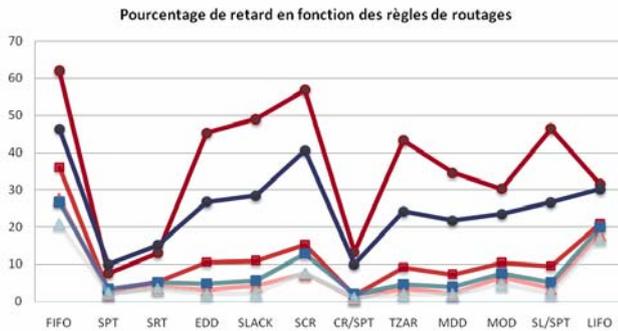
SPT	SPT	SPT
CR/SPT	CR/SPT	CR/SPT
SRT	SRT	SRT
TZAR	MOD	MOD
MOD	TZAR	TZAR
SLACK	SLACK	SLACK
MDD	MDD	MDD
EDD	EDD	EDD
SL/SPT	SL/SPT	SL/SPT
SCR	SCR	SCR
FIFO	FIFO	FIFO
LIFO	LIFO	LIFO

LIFO	TZAR	TZAR
MDD	MOD	SL/SPT
TZAR	SL/SPT	SRT
EDD	EDD	SLACK
SL/SPT	SLACK	MOD
SLACK	SCR	SCR
SCR	LIFO	LIFO
FIFO	FIFO	FIFO

TABLEAU VIII.  
CLASSEMENT DES REGLES DE PRIORITE POUR UN POURCENTAGE DE RETARD MINIMAL CHARGE MODEREE 80%.

D. Le pourcentage de job en retard

Pour minimiser le nombre de pièces en retard, nous avons la règle CR/SPT qui donne les meilleurs résultats pour la plus part des configurations sauf pour date échues serrées de charge élevée où nous avons le meilleur résultat avec la règle SPT.



- Charge élevée Dates échues serrées
- Charge élevée Dates échues modérées
- ▲ Charge élevée Dates échues larges
- Charge modérée Dates échues serrées
- Charge modérée Dates échues modérées
- ▲ Charge modérée Dates échues larges

Figure. 4. Le pourcentage de retard en fonction des règles de priorité.

TABLEAU VII.  
CLASSEMENT DES REGLES DE PRIORITE POUR UN POURCENTAGE DE RETARD MINIMAL CHARGE ELEVEE 90%.

Charge élevée 90%		
Dates échues serrées = 30	Dates échues modérées = 50	Dates échues larges = 60
SPT	CR/SPT	CR/SPT
SRT	SPT	MDD
CR/SPT	SRT	SPT
MOD	MDD	EDD

Charge modérée 80%		
Dates échues serrées = 20	Dates échues serrées = 30	Dates échues serrées = 60
CR/SPT	CR/SPT	CR/SPT
SPT	SPT	TZAR
SRT	MDD	MDD
MDD	TZAR	EDD
MOD	EDD	SLACK
TZAR	SL/SPT	SPT
SL/SPT	SRT	SL/SPT
EDD	SLACK	SRT
SLACK	MOD	MOD
LIFO	SCR	SCR
SCR	LIFO	LIFO
FIFO	FIFO	FIFO

Au terme de cette étude nous avons pu classer les règles de priorité utilisées dans la gestion des files d'attente de notre atelier Jobshop. Cette classification nous permet de voir que chaque critère atteint sa meilleure performance avec une ou plusieurs règles spécifiques. Nous constatons que les deux règles SPT et CR/SPT dominant largement les têtes des tableaux précédents.

V. CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons pu classer les règles de priorité utilisées dans la gestion des files d'attente de notre atelier Jobshop. Cette classification nous a permise de voir que chaque critère atteint sa meilleure performance avec une ou plusieurs règles spécifiques. A cet effet, nous avons représenté la sélection des règles de priorité selon le critère d'évaluation sous forme de tableaux.

Nous avons pu constater que les deux règles SPT et CR/SPT dominaient largement les têtes des tableaux de classement. Mais on ne peut designer une règle commune qui domine quelque soit les contraintes d'opération du système.

Cette classification nous sera référentielle du fait que nous pourrions facilement sélectionner des règles de priorités (pas particulièrement la meilleure) selon le degré d'importance de plusieurs mesures de performances de façon à satisfaire une combinaison des critères et qui est généralement la technique adoptée.

#### REFERENCES

- [1] Groupe d'Ordonnancement Théorique et Appliqué, "Les problèmes d'ordonnancement", R.A.I.R.O. Recherche opérationnelle Research, vol.27, n°1, 1993, pp. 77-150.
- [2] P. Esquirol, P. Lopez, L'ordonnancement, Economica, 1999.
- [3] Chrétienne P., Coffman E.G., Lenstra, J.K., Liu Z., Scheduling Theory and Its Applications, John Wiley & Sons Ltd, 1997.
- [4] Lopez P., Roubellat F., Ordonnancement de la production, Hermes Sciences, IC2 Productique, 2001.
- [5] D. Boucon, "Ordonnancement d'atelier : Aide au choix des règles de priorité", Thèse de Doctorat en Automatique, Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, Avril 1991.
- [6] S.S. Panwalker, W. Iskander, "A survey of scheduling rules", Operations Research, vol.9, n°, 1977, pp. 45-61.
- [7] M. Montazeri, L.N. VanWassenhove, "Analysis of scheduling rules for an FMS", International Journal of Production Research, vol.28, n°4, 1990, pp. 785-802.
- [8] O. Holthaus, C. Rajendran, "Efficient jobshop dispatching rules: further developments", Production Planning and Control, vol.11, n°2, 2000, pp. 171-178.
- [9] H. Pierreval, N. Mebarki, "Dynamic selection of dispatching rules for manufacturing systems scheduling", International Journal of Production Research, vol.35, n°6, 1997, pp. 1575-1591.
- [10] W. Ferrell Jr., J. Sale, J. Sams, M. Yellamraju, "Evaluating simple scheduling rules in a mixed shop environment", Computers and Industrial Engineering, vol., n°38, 2000, pp. 39-66.