

Sélection des règles de routages en fonction des critères de performance d'un FMS soumis à des perturbations

Ordonnancement d'un job shop flexible

Sonia MRAD

Master en science de transport et la logistique
Institut supérieur de transport et logistique de Sousse
Université de Sousse, Tunisie
mradsonya@yahoo.fr

Dr. Hinda MEJRI

LAGIS-EC Lille
Institut supérieur de transport et logistique de Sousse
Université de Sousse, Tunisie
hindamejri@ec-lille.fr

Résumé—Un problème d'ordonnancement consiste à organiser dans le temps, la réalisation d'un ensemble de tâches, compte tenu de contraintes temporelles et de contraintes de ressources. Une politique d'ordonnancement est le résultat d'une règle de priorité et d'une règle de routage.

Une règle de priorité ordonnance l'exécution des tâches dans le temps en donnant une priorité à ces différentes tâches, et une règle de routage répartit l'exécution des tâches sur les ressources (machines) disponibles.

Plusieurs approches sont proposées pour résoudre les problèmes d'ordonnancement. Notre travail s'inscrit dans le cadre de l'approche simulateur. Elle permet d'évaluer et de comparer la performance des règles d'ordonnements. Dans ce travail, nous avons simulé cinq règles de routage EPL (Equal Probability Loading), FA (First Available), SQ (Shortest Queue), LWQ (Least Work in Queue) et une règle proposée intitulée MCQ (Most Charged Queue). Nous traitons l'influence des conditions opératoires (déterministe/stochastique) et des perturbations (pannes machines, taux de charge) ainsi que la taille des lots de fabrication sur les performances de ces règles dans un atelier de type job shop.

Mots clés ---Ordonnancement ; Système Flexible de Production (FMS) ; règles de routages ; évaluation de performances ; simulation ; logiciel ARENA.

I. INTRODUCTION : ETAT DE L'ART

Le problème d'ordonnancement d'atelier job shop est parmi les problèmes les plus traités dans la littérature ; à cause du fait qu'il est très proche de la réalité industrielle. L'ordonnancement concerne l'affectation de ressources limitées aux tâches dans le temps. C'est un processus de prise de décision dont le but est d'optimiser un ou plusieurs objectifs [1].

Les systèmes flexibles de productions sont des systèmes de production fortement automatisés qui comportent des machines à commande numérique dotées d'un grand degré de versatilité (d'incertitude) et ont la possibilité d'effectuer

plusieurs types d'opérations [2] [3], ceci donne au système la possibilité de produire plusieurs types de produits simultanément [3] [4]. Ils ont pour but d'aboutir, non seulement, à une productivité importante, mais aussi à une grande flexibilité de production lui permettant de suivre les variations du marché [5].

L'une des premières études sur l'ordonnancement des systèmes flexibles de production date depuis 1979 [6] où les auteurs ont démontré l'importance et l'effet des décisions d'ordonnancement sur les performances des systèmes de production [7] [8].

Plusieurs chercheurs ont proposé différentes méthodes pour fournir une flexibilité à l'ordonnancement en temps réel afin d'augmenter les performances des systèmes de production [9] [10] [11] [12]. Mais dans leurs approches les opérations de production sont ordonnancées avant le début de la production.

Résoudre un problème d'ordonnancement consiste à organiser dans le temps, la réalisation d'un ensemble de tâches, compte tenu de contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînements, etc.) et de contraintes portant sur l'utilisation et la disponibilité des ressources requises par les tâches [13]. Les ateliers flexibles avec des ressources limités, des temps d'arrêt, des pannes de machines aléatoires ou des critères de productions multiples ont un aspect qui explique que les problèmes d'ordonnancement de ces systèmes sont relativement de type NP-Complexe [14]. Ces problèmes sont donc extrêmement difficiles et il n'existe pas de méthodes universelles permettant de résoudre efficacement tous les cas.

De nombreuses méthodes de résolutions ont été abordées dans la littérature [15] [16] [17]. Mais la complexité des problèmes industriels fait en sorte qu'il est souvent difficile d'utiliser des méthodes exactes compte tenu des temps de calcul exigés et du manque de flexibilité des méthodes pour intégrer divers contraintes spécifiques. Ainsi, d'autres travaux de recherche se sont orientés vers l'utilisation des méthodes de

résolution approchées pour traiter des instances de problème de tailles importantes [15] [16].

Une méthode d'ordonnement heuristique [15] est généralement une combinaison d'une règle de séquençement et d'une règle de routage [4].

Les méthodes heuristiques proposées dans la littérature pour l'ordonnement dans les FMS sont nombreuses [7] [8] [16] [18]. Beaucoup d'entre elles s'adressent aux problèmes de routages de pièces. On note :

- Une approche hiérarchique pour l'ordonnement dans un FMS où les décisions de routages de pièces sont prises en utilisant des règles de priorité afin de minimiser le coût de retard, le coût des en-cours, le temps de cycle... [19]
- Une plateforme hiérarchique de planification de production conçue pour un FMS en utilisant la règle Smallest Work In Next Queue (SWINQ) [16].
- Une stratégie basée sur la logique floue pour différentes décisions d'ordonnement dans un FMS en utilisant des critères flous relatifs aux Work In Next Queue (WINQ) et Number In Next Queue (NINQ). L'approche floue a surpassé les règles WINQ et NINQ en termes du retard global moyen, le pourcentage de retards et le temps de cycle moyen [20] [21].

Au delà de l'optimisation des flux de production, la simulation est employée pour la comparaison des différentes stratégies d'ordonnement tel que le choix des meilleures règles de priorité en temps réel [21] [22] [20]. D'autres travaux utilisent un modèle de simulation pour évaluer les règles de routage [5] [21].

En pratique, les objectifs considérés sont souvent multiples et les règles sont alors combinées afin de pouvoir prendre en compte plusieurs indicateurs en même temps [20] [23] [24]. De ce fait plusieurs travaux ont été menés dans ce sens, afin de montrer l'intérêt de certaines combinaisons du point de vue de la performance.

Une étude comparative entre deux méthodes de sélection de routage alternatifs en temps réel, la méthode Dissimilarity Maximization Method (DMM) et la méthode DMM modifiée a été élaborée afin d'obtenir de meilleurs résultats et performances pour les systèmes flexibles de production FMS [20]. Cette étude a montré après plusieurs simulations à l'aide du logiciel ARENA, que la méthode modifiée a nettement amélioré le taux de production ; le taux d'utilisation des différentes machines et le taux du système de transport pour un système de production FMS saturée et même en présence de pannes.

Une autre étude a proposé trois règles d'affectation. Chacune de ces règles est une combinaison de deux règles simples : (FIFO/FA), (EPL/FIFO) et (DMM/FIFO) [7] [8].

La technique de simulation pourrait être utilisée pour évaluer les performances d'un système de production, de type job shop, sous différentes règles de routage, et sous plusieurs formes de perturbations (pannes de machine, système de

transport, temps d'arrêt...) [24] [25] [26]. Cette technique permet en outre, de traiter l'influence des conditions opératoires, des perturbations et la taille du lot de fabrication sur les performances des règles de routage.

Ce papier propose un cas d'étude « job shop » avec modélisation des règles de routages. Quelques expérimentations d'appui vont être présentées et traitées à la fin de ce travail.

II. MODELISATION DES REGLES DE ROUTAGES

Les règles de routage ont pour rôle de sélectionner pour chaque tâche, la machine qui va effectuer son traitement parmi toutes les machines pouvant accomplir cette tâche [8] [9]. Parmi les règles de routage utilisées pour ce type d'atelier, on distingue: EPL (Equal Probability Loading), FA (First Available), SQ (Shortest Queue).

A. Equal Probability Loading (EPL)

Cette règle est utilisée dans le but de garder un taux d'utilisation équilibré entre les machines du système de production. Une pièce est traitée indifféremment par une des machines disponibles définies dans sa gamme opérationnelle.

B. First Available (FA)

Le but de cette règle est d'optimiser l'utilisation des machines dans un système de production. Les pièces sont transportées à la première machine à être libérée, parmi toutes les machines disponibles définies dans la gamme opérationnelle.

C. Shortest Queue (SQ)

Cette règle, vise à minimiser la congestion dans le système de production en envoyant les pièces vers la machine ayant la plus petite quantité en file d'attente.

D. Last Work In Queue (LWQ)

Toujours dans un souci de minimiser la congestion dans un système de production, et selon cette règle qui est une amélioration de la règle SQ, les pièces sont envoyées à la machine dont la file d'attente contient la charge minimale, non pas en terme de quantité de pièces, mais en terme de temps de traitement.

E. Most Charged Queue (MCQ)

La règle MCQ consiste à sélectionner la machine dont la file d'attente comporte le maximum de pièces de même type et dont le nombre est le plus proche de la taille du lot.

III. MODELISATION DE SYSTEME FLEXIBLE DE PRODUCTION

Le modèle adopté est celui d'un atelier job shop déjà traité par plusieurs chercheurs dans la littérature pour comparer les règles de routages [5] [26]. Ce système contient six machines et deux stations :

- Les cisailles : trois cisailles (C)
- Les plieuses : deux plieuses (PLI)

- Une poinçonneuse : (PO)
- Une station d'entrée (SE)
- Une station de sortie (SS)

Les machines traitent deux types de pièces A et B. La production est par lot. Les stocks sont d'une capacité infinie et gérés en FIFO (first in first out). En plus, au niveau de chaque machine, FIFO est employée comme règle de séquençement.

Les deux types de pièces A et B qui affluent dans le système, leurs types, le pourcentage de chaque type, leurs routages alternatifs ainsi que les temps opératoires sont donnés dans le tableau I.

TABLE I. ROUTAGES ALTERNATIFS ET TEMPS DE TRAITEMENT DES PIÈCE

Types de pièces	Taux d'arrivée (%)	Routage & temps de traitement (min)
A	30	SE-C1 /11,30-PO/4-PLI1/19-SS
		SE-C1 /11,30-PO/4-PLI2/19-SS
		SE-C2 /11,30-PO/4-PLI1/19-SS
		SE-C2 /11,30-PO/4-PLI2/19-SS
		SE-C3 /11,30-PO/4-PLI1/19-SS
		SE-C3 /11,30-PO/4-PLI2/19-SS
B	70	SE-C1 /26,70-PLI1/39,57-SS
		SE-C1 /26,70-PLI2/39,57-SS
		SE-C2 /26,70-PLI1/39,57-SS
		SE-C2 /26,70-PLI2/39,57-SS
		SE-C3 /26,70-PLI1/39,57-SS
		SE-C3 /26,70-PLI2/39,57-SS

Les opérations sur les systèmes flexibles de production étudiés sont basées sur les contraintes suivantes [5] [26] [27] :

- Pas de préemption : chaque opération commencée sur un poste de travail est terminée sans interruption,
- Une machine ne peut exécuter qu'une seule opération, à la fois,
- Toutes les machines sont disponibles à $t = 0$,
- Une machine ne tombe en panne que si elle est occupée,
- Les temps de réglage, chargement et déchargement sont compris dans les temps opératoires.
- Les temps de manutention entre machines sont supposés négligeables.
- Les capacités des stocks sont considérées illimitées.
- Pour tous les produits, la production est réalisée par lot de fabrication.

IV. SIMULATION ET RESULTATS

Les résultats des tests effectués sont traités avec le logiciel de simulation ARENA, sur le modèle décrit précédemment. Nous avons étudié son comportement pendant un horizon de 20000 heures avec 35 réplifications pour chaque simulation. Nous présentons, ci-dessous, les conditions opératoires. Le plan des expérimentations effectuées sur le modèle de simulation est défini par :

A. Les trois hypothèses propres du modèle portent sur les temps opératoires :

- Durées opératoires déterministes,
- Durées opératoires triangulaires,
- Durées opératoires triangulaires avec pannes machines.

B. Les trois variables d'entrées du modèle sont les suivantes :

- Les taux de charge : (taux de création de pièces de 1/80 pièce/minutes, taux de création de pièce de 1/85 pièce/minutes, taux de création de pièce de 1/90 pièce/minutes.
- Les règles de routage: (Equal Probability Loading (EPL), First Available (FA), Shortest Queue (SQ), Least Work in Queue, Most Charged Queue (MCQ)).
- Les tailles du lot de fabrication : 5 pièces par lot, 10 pièces par lot et 15 pièces par lot.

Avec cet ensemble de paramètres, deux plans expérimentaux ont été réalisés :

- Le premier, un plan expérimental complet composé de 3 expérimentations relatives aux 3 cas de la durée opératoire. Pour chaque expérimentation, nous déterminons les simulations correspondantes aux combinaisons des deux variables d'entrée (3 taux de charge x 5 règles de routage = 15 simulation par expérimentation).
- Le deuxième plan expérimental est composé d'une seule expérimentation pour des durées opératoires déterministes et un taux de charge de 1/80, et avec des simulations correspondantes aux trois tailles du lot de fabrication (3 tailles du lot x 5 règles de routage = 15 expérimentations).

Deux indicateurs élémentaires sont utilisés pour mesurer l'impact de chacune des expériences : temps de cycle moyen, stock d'en-cours moyen.

De tels résultats directs d'une simulation (moyenne, minimum, maximum, écart type) ne suffisent pas pour tirer des conclusions crédibles sur les performances du système. Pour prendre en compte ces erreurs, il faut les exploiter pour effectuer des procédures statistiques. En particulier, pour chaque variable inconnue il faut déterminer un intervalle de confiance qui le contient avec une certaine probabilité [29][30].

1) Plan Experimental 1

Ce plan est composé de trois expérimentations relatives aux trois cas de la durée opératoire.

a) Experimentation N°1

Nous avons dans un premier temps, simulé le modèle job shop avec des temps opératoires déterministes et avec trois taux de charge (1/80 ; 1/85 ; 1/90). La figure 1 représente le comportement de temps de cycle moyen par rapport au taux de création des pièces et pour chaque règle de routage prédéfinie.

Fig. 1. Temps de cycle moyen

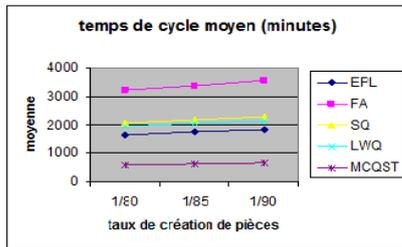
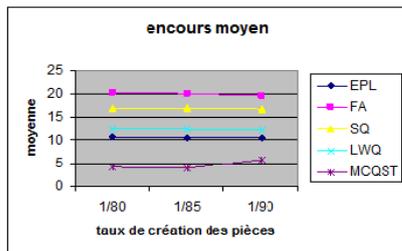


Fig. 2. Stock d'encours moyen



Nous remarquons qu'une variation décroissante du taux de charge, augmente le temps de cycle moyen et ceci pour toutes les règles de routage retenues. Cela s'explique par la spécificité d'une fabrication par lot [30].

Elle impose la constitution d'un lot de pièces de même type avant d'entamer leur fabrication, créant ainsi des temps d'attente devant les machines. En d'autres termes, plus le temps inter-arrivé est important, plus la formation des lots est lente et plus le temps de cycle est long. A noter la performance de la règle MCQ. Elle offre le temps de cycle moyen le plus court, contrairement à la règle FA la moins performante en terme de temps.

La figure 2 montre l'évolution du stock d'encours moyen en fonction du taux de création de pièces. Remarquons pour les règles EPL, FA, SQ et LWQ la stabilité du stock indépendamment de la variation du taux de création de pièces. Sauf pour la règle MCQ, le stock d'encours augmente légèrement pour le dernier taux 1/90. Aussi, la règle MCQ reste la plus intéressante pour minimiser le stock d'encours, alors que la règle FA a engendré la quantité.

TABLE II. PERFORMANCE DU SYSTEME AVEC DES TEMPS OPERATOIRES DETERMINISTES

Temps de Cycle Moyen (minutes)					
Taux de création des pièces	EPL	FA	SQ	LWQ	MCQ
1/80	1661.22	3231.71	2055.81	1948.9	617.48
1/85	1739.38	3373.62	2172.72	2049.17	634.47
1/90	1819.39	3547.35	2285.84	2145.38	654.55
Le Stock d'Encours Moyen					
Taux de création des pièces	EPL	FA	SQ	LWQ	MCQ
1/80	10.665	20.38	16.92	12.42	4.23
1/85	10.52	20.11	16.75	12.35	4.065
1/90	10.34	19.74	16.63	12.175	5.89

b) Experimentation N°2

Dans la deuxième expérimentation, nous avons refait la simulation sous les trois taux de charges, mais avec, cette fois-ci, des temps opératoires triangulairement distribués.

Fig. 3. Temps de Cycle Moyen

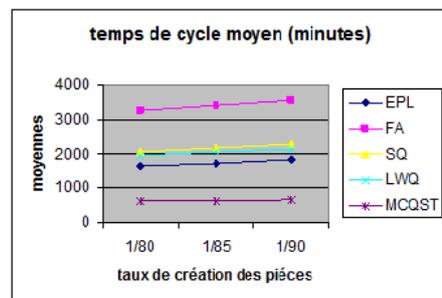
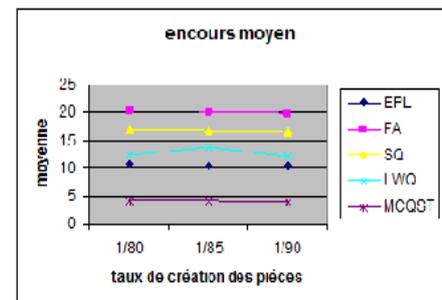


Fig. 4. Stock d'encours moyen



Toujours c'est la règle MCQ qui donne des meilleurs résultats à taux de charge faible et à taux de charge élevé, alors que la règle FA constitue la règle la moins performante. Nous remarquons que les règles SQ et LWQ sont quasiment

identiques car les deux consistent à choisir la machine dont la file d'attente est la moins chargée que ce soit en terme de pièces ou en terme de temps de traitement.

TABLE III. PERFORMANCE DU SYSTEME AVEC DES TEMPS OPERATOIRES EXPONENTIELLEMENT DISTRIBUE

Temps de Cycle Moyen (minutes)					
Taux de création des pièces	EPL	FA	SQ	LWQ	MCQ
1/80	1654	3236.37	2063.5	1934.34	622.35
1/85	1735.8	3398.3	2176.8	2038.9	649.4
1/90	1821.4	3545.35	2249.14	2135.38	664.05
Le Stock d'Encours Moyen					
Taux de création des pièces	EPL	FA	SQ	LWQ	MCQ
1/80	10.69	20.37	17.007	12.45	4.218
1/85	10.56	20.05	16.885	13.785	4.12
1/90	10.44	19.74	16.08	12.26	3.99

c) Experimentation N°3

Dans cette expérimentation, nous avons gardé des temps opératoires triangulairement distribués et nous avons introduit des pannes de machines. Les caractéristiques des pannes sont comme suit :

- La durée du bon fonctionnement est aléatoire et suit une distribution exponentielle de moyennes 100 heures.
- La durée de réparation est aussi une grandeur aléatoire exponentiellement distribuée de moyenne de 5 heures.

Fig. 5. Temps de Cycle Moyen

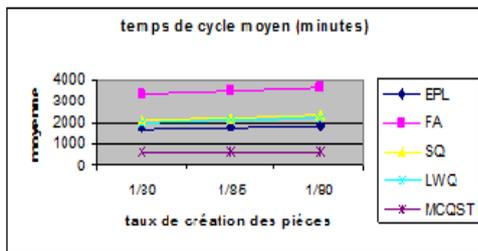
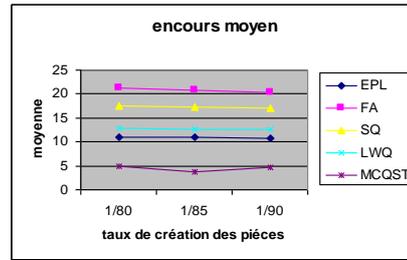


Fig. 6. Stock d'Encours Moyen



L'introduction des pannes dans le système, a entraîné logiquement un ralentissement des temps de cycle moyen pour toutes les règles de routages. Ceci confirme le rôle joué par l'aléa sur le comportement de système de production. Les performances relatives des 4 règles sont restées les mêmes. Le temps de cycle moyen de la règle MCQ reste pratiquement constant pour les différents taux de créations. Aussi, la règle MCQ reste la plus intéressante pour minimiser le stock d'encours, alors que la règle FA a engendré la quantité d'encours la plus élevée.

A partir de ces résultats, nous remarquerons que la règle MCQ figure comme la meilleure règle de routage pour réduire la moyenne de temps de cycle et d'encours dans toutes les configurations, quelque soit la charge de l'atelier élevé ou faible, les durées opératoires déterministes ou aléatoire et même en présence de pannes. Cette règle consiste à sélectionner la machine dont la file d'attente comporte le maximum de pièces de même type et le plus proche de la taille de lots, donc ce qui a pour conséquence une accélération des jobs de même type et qui atteint plus vite la taille de lot donc ce ci entraîne une réduction de temps de cycle moyen et de stock d'encours. Notons donc que les règles EPL et LWQ donnent des résultats acceptables, les règles SQ et FA figurent comme des mauvaises stratégies.

2) Plan Experimental 2

Ce plan est composé d'une seule expérimentation. Nous avons simulé le modèle avec trois tailles de lots différentes (5,10 et 15), et nous avons fixé le taux de charge à 1/80 (pièce/minutes).

Fig. 7. Influence de taille de lots sur le temps de cycle moyen

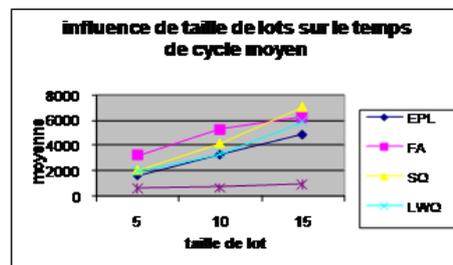
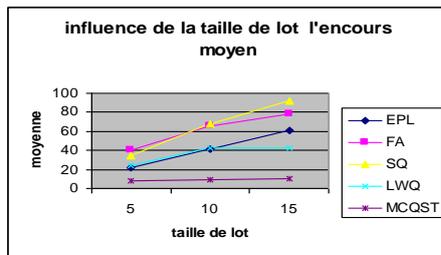


Fig. 8. Influence de la taille de lots sur l'encours moyen



D'abord, nous constatons la forte influence de la taille du lot sur la performance (temps de cycle, stock d'encours) des 4 règles de routage : EPL, FA, SQ et LWQ, contrairement à la règle MCQ qui garde relativement les mêmes performances pour les 3 tailles du lot.

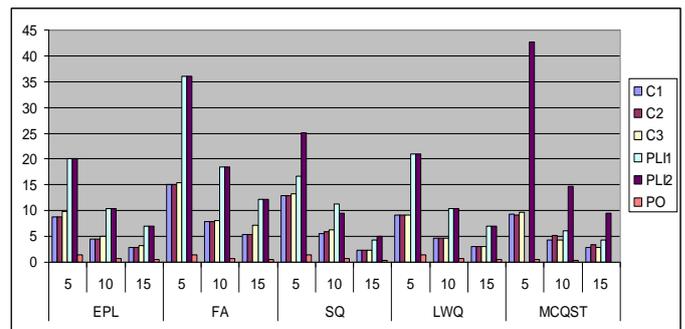
Pour le temps de cycle moyen, la règle MCQ offre la meilleure performance pour les 3 tailles du lot, ainsi nous remarquons qu'il y a une forte sensibilité des autres règles EPL, FA, SQ et LWQ pour l'augmentation de taille de lot. La règle SQ figure comme la plus mauvaise pour la taille du lot égale à 15. Pour les tailles 5 et 10, toujours c'est la règle FA qui donne des temps de cycle moyen clairement très élevés.

Pour le stock d'encours moyen, et pour les 3 tailles du lot, la règle MCQ offre la meilleure performance. Aussi on peut noter qu'il y a une quasi-égalité entre les règles EPL et LWQ pour la taille de lots 10, ainsi qu'avec les règles FA et SQ pour la taille 15. Accroître la taille du lot réduit la performance des critères de manière sensible car la constitution d'un lot de pièce de même type avant d'entamer leurs fabrication, pénalise la production et entraîne par conséquent des retard devant les machines. En d'autre terme il faut noter que le retard sera plus au moins important suivant la valeur de taille de lot. L'augmentation de la taille des lots a pour conséquence la dégradation des critères de performance pour la majorité des règles. Donc il s'agit de trouver la taille de lot optimale qui améliore l'efficacité de système de production. Entre autre ceci nécessite simultanément une réduction des tailles des lots et une augmentation du volume de production.

3) Taux d'utilisation des machines

Le taux d'utilisation des machines est calculé comme le pourcentage d'utilisation moyenne, pendant tout le temps de simulation. La figure 9 montre le taux d'occupation des machines dans le système :

Fig. 9. Le taux d'utilisation des machines en fonction de taille de lot



Nous remarquons un taux d'utilisation moyen des machines qui est relativement élevé pour toutes les règles de routage et ceci seulement pour une taille de lot égale à 5. Cependant suite à l'augmentation progressive de la taille des lots (10 et 15), nous remarquons une diminution remarquable des valeurs de taux d'utilisation pour toutes les règles.

Nous constatons tout d'abord une quasi-égalité de l'utilisation des machines C1, C2 et C3 pour toutes les règles de routage ainsi que pour les trois tailles de lot. Nous remarquons aussi que la machine PLI 2 est celle la plus utilisée pour toutes des règles (42.72%), contrairement à la machine PO qui est la moins utilisé lors de fabrication des pièces.

La règle MCQ permet une utilisation élevée de la machine PLI2 pour une taille de lot égale à 5. Cette machine est capable d'accepter plus rapidement les pièces de même type dans les files d'attente.

Conclusion

Cette étude, nous a permis de classer les règles de routage utilisées selon leur efficacité et par rapport à chaque critère de performance. Nous avons pu traiter les différentes caractéristiques liées au système de production, aux produits, aux temps, aux règles de routage et aux indicateurs de performance.

Les 5 règles de routage et les perturbations (pannes machines, taux de charge) ont été formellement distinguées. Le modèle conçu dans ce travail offre un cadre d'évaluation des politiques de pilotage et permet de comparer les différents scénarios de production et de proposer la règle MCQ «Most Charged Queue». Cette règle optimise l'usage des machines et le traitement des pièces de même type dans les files d'attente.

En perspective, il serait intéressant de proposer une méthode de sélection des règles de routages en temps réel. Cette sélection peut être réalisée en fonction des conditions opératoires, des objectifs de production et de l'état du système de production. Autre axe à explorer consiste à déterminer l'impact d'autres facteurs sur la performance globale des règles de routages. Enfin, nous envisageons de mener d'autres expérimentations sur la règle MCQ afin de vérifier ses performances dans d'autres configurations et conditions de production.

Références

- [1] P. Pinedo, "scheduling theory, Algorithms and systems", Prentice hall, Engle wood cliffs, 1995.
- [2] B. L. Maccarthy, J. Liu, "Addressing the gap in scheduling Research: a review of optimization and heuristic methods in production scheduling" International journal of production Research, vol 31, n1, pp. 59-79, 1993.
- [3] B. L. Maccarthy, J. Liu, "A goal MILP model for FMS scheduling", European journal of operational research, 100, 441-453, 1995.
- [4] A. Gupto, K. Sivakumar, "Job shp scheduling techniques in semiconductor manufacturing", int. Journal of advanced manufacturing technology. Vol.27, No. 11-12, 2006.
- [5] L. GHOMRI, Z. SARI, "Investigation sur les performances des règles de routage dans un FMS sous contraintes et perturbations", 6 Conférence Francophone de Modélisation et Simulation - MOSIM'06 - du 3 au 5 avril Rabat- Maroc, 2006.
- [6] S. Nof, M. Barash, J. Solberg, "Operational control of item flow in versatile manufacturing system", International journal of production research, 17, 479-489, 1979.
- [7] C. Saygin, S. E. Kilick, "Effect of flexible process plans on performance of flexible manufacturing systems", proceedings of 7th International DAAM symposium, Vienna, Austria, 393-394, 1996.
- [8] C. Saygin, F.F. Chen and J. Singh, "Real-Time Manipulation of alternative Routings in Flexible Manufacturing System: A simulation Study". International journal of advanced Manufacturing Technology, 18, p 755-763, , 2001.
- [9] R. Caprihan, S. Wadhwa, "impact of routing flexibility on the performance of an FMS – A simulation study". Int J Flex Manuf Sys; 9(3); 273-298, 1997.
- [10] C. Saygin, S.E. Kilic, "Dissimilarity Maximization Method for Real-time Routing of Parts in Random Flexible Manufacturing Systems", The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, 16, p. 169-182, , 2004.
- [11] J.Xiong, LN. Xing , YW .Chen, "Robust scheduling for multi-objective flexible job-shop problems with random machine breakdowns". Int J Prod Econ; 141(1): 112-126, 2013.
- [12] M. Ali, S. Wadhwa, "The effect of routing flexibility on a flexible system of integrated manufacturing". Int J Prod Res; 48(19): 5691-5709, 2010.
- [13] P .Esquirol, P. Lopez, "Economica ", collection Gestion production et technique qualitative appliqués à la gestion, Paris, France, 1999.
- [14] M. Garey, S. Johnson, "Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP Completeness" , W.H. Freeman and Co., New York, 1979.
- [15] C. Basnet, J. H. Mize. "Scheduling and control of flexible manufacturing systems: a critical review", International journal of Computer Integrated Manufacturing, 7(6), 340-355, 1994.
- [16] O. Bilkay, O. Anlagan, S. Kilic, "Job shop scheduling using fuzzy logic". International Journal of advanced Manufacturing Technology, 23, 606-619, 2004.
- [17] H. MEJRI, 2012, "Un système d'aide à la régulation d'un réseau de transport multimodal perturbé : réponse au problème de congestion" thèse de doctorat, Ecole centrale de Lille, 2012.
- [18] J.H. Blackstone, D.H. Phillips, G.L. Hogg, "A state of the the art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations, International Journal of Production Research, vol 20, pp. 27-45, 1982.
- [19] Tung, L.F., Lin, L. and Nagi, R. (1999). Multiple-Objective Scheduling for the Hierarchical Control of Flexible Manufacturing Systems. The International Journal of Flexible Manufacturing
- [20] A.Hassam, Z.Sari ; « Sélection de routage alternatifs en temps réel, étude comparatif entre la méthode DMM et la méthode DMM modifiée », Congrès Conception et production intégrées, page1-16, CPI'2007.
- [21] M. Souier, A., Hassam et Z., Sari, "Meta-heuristics for real time routing selection in FMS", Book chapter in: Lyes Benyoucef and Bernard Grabot (Ed.), Artificial Intelligence Techniques for Networked Manufacturing Enterprises Management, Springer-Verlag, ch. 8, pp. 221-247. ISBN 978-1-84996-118-9, 2010.
- [22] Mebarki, N., 1995, "Une approche d'ordonnancement temps réel basée sur les règles de priorité des files d'attente", Thèse de doctorat, Université de Claude Bernard Lyon1, 1995.
- [23] M. A. Shalaby, T. F. Abdelmaguid, and Z. Y. Abdelrasol, "New routing rules for dynamic flexible job shop scheduling with sequence-dependent setup times", in Proc. The International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Turkey, 2012.
- [24] R. Balasundaram, N. Baskar, R. Siva Sankar, "Discovering dispatching rules for job shop scheduling using data mining" Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 178, 2013.
- [25] C. Peng, F.F. Chen (1998). "Real-time control and scheduling of flexible manufacturing systems: a simulation based ordinal optimization approach", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 14 (10), 775-786.
- [26] S. Miller; D. Pegden; "Introduction to manufacturing simulation", Proceedings of the 2000 winter simulation Conference. USA. 2000.
- [27] A. Kaban, K. Othman, "Comparaison of dispatching rules in job shop scheduling problem using simulation: case study". Original scientific paper, international journal simulation model 3, 129-140, 2012.
- [28] A. Sharma, A. Jain, "effect of routing flexibility and sequencing rules on performances of stochastic flexible job shop manufacturing system with setup time: simulation approach. Journal of engineering manufacture. March, 2015.
- [29] A. Kazerooni, F. T. S. Chan, K. Abhary. "A fuzzy integrated decision-making support system for scheduling of FMS using simulation", Computer Integrated Manufacturing Systems, 10 (1), 27-34, 1997.
- [30] Y. D. Wu, R. A. Wysk "An application of discrete event simulation to on-line control and scheduling in flexible manufacturing", International journal of Production Research, 27, 1603-1623, 1989.