
Sélection de routages alternatifs en temps réel, étude comparatif entre la méthode DMM et la méthode DMM modifiée

Ahmed HASSAM* — Zaki SARI*

**Laboratoire d'Automatique de Tlemcen,
Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université d'Aboubekr Belkaïd,
BP 230, Tlemcen 13000, Algérie.*

**{a_hassam, z_sari}@mail.univ-tlemcen.dz*

RÉSUMÉ : Dans cet article, nous allons présenter une étude comparatif entre deux méthodes de sélection de routage alternatif en temps réel, la méthode DMM (Dissimilarity Maximization Method) et la méthode DMM modifiée que nous avons développé et amélioré à partir de la méthode DMM afin d'obtenir de meilleurs résultats et performances pour les systèmes flexibles de production FMS. Pour valider les résultats de cette étude, nous avons simulé un modèle FMS par le logiciel de simulation ARENA en utilisant les deux méthodes DMM et DMM modifiée. Ce modèle FMS comporte sept machines d'usinage chaque machine contient des buffers d'entrée sortie, une station de chargement contenant un buffer d'entrée et une station de déchargement ainsi que six types de pièces différents, chaque type de pièce contient plusieurs routages alternatifs. Les résultats obtenus après plusieurs simulations de ce modèle FMS, ont montré que la méthode DMM modifiée a nettement amélioré le taux de production, le taux d'utilisation des différentes machines et le taux d'utilisation du système de transport, pour un système de production FMS saturé et même en présence de pannes.

MOTS-CLÉS : Systèmes flexibles de production, Routage alternatif, Règle de sélection de routage, Simulation.

ABSTRACT: In this article, we will present a comparative study between two methods of selection of alternative routing in real time, DMM method (Dissimilarity Maximization Method) and the modified DMM method which we developed from DMM method in order to obtain better results and performances for the FMS. To validate the results of this study, we simulated an FMS model by the software of simulation ARENA by using two methods DMM and modified DMM. This FMS model comprises seven machines each machine contains input output buffers, a loading station containing an input buffer and an unloading station. This FMS contains also six different types of parts, each type of part contains several alternative routings. Results obtained after several simulations of this model FMS showed that modified method DMM clearly improved the production rate, the utilisation ratio of the various machines and the utilisation ratio of the system of transport, for a saturated FMS and even in the presence of breakdowns.

KEY WORDS: Flexible Manufacturing System, Alternative routing, Routing selection rule, Simulation.

1. Introduction

La sélection des routages alternatifs est une étape majeure dans l'ordonnancement des systèmes de production, cette opération est très difficile à réaliser à cause des nombreux problèmes.

Les problèmes d'ordonnancement sont généralement de type NP Complet. L'une des premières études sur l'ordonnancement des systèmes flexibles de production est le travail de (Nof, 1979) où il démontre l'importance et l'effet des décisions d'ordonnancement sur les performances des systèmes de production.

Avec l'ordonnancement en temps différé on trouve beaucoup de problèmes à cause des changements inévitables en raison du réordonnancement qui est dues aux pannes des machines ou au manque de matériaux par exemple.

Les facteurs cités ci-dessus et beaucoup d'autres, rendent le réordonnancement obligatoire afin d'éviter l'augmentation des temps d'attente, l'augmentation des encours, la faible utilisation des machines et des équipements et éventuellement la dégradation des performances du système de production (Wu, 1989); (Ishii, 1996).

Plusieurs chercheurs proposent différentes méthodes pour fournir une flexibilité à l'ordonnancement en temps différé afin d'augmenter les performances des systèmes (Saygin, 1996 et 1999); (Liu, 1997).

Cependant, l'ordonnancement temps réel reste toujours le but souhaitable mais insaisissable (Basnet, 1994); (Shukla, 1996). En conséquence, établir un système intégré d'ordonnancement temps réel et de commande qui répond aux changements de l'état du système, est essentiel pour améliorer les performances du système de production.

Le contrôle et l'ordonnancement temps réel des systèmes flexible de production sont devenus un domaine de recherche populaire depuis le début des années 80, période dans laquelle les systèmes flexibles de production ont été adoptés par les pays industriels (Saygin, 1995 et 1997); (Peng, 1998). Mais beaucoup d'études dans le contrôle et l'ordonnancement des FMS en temps réel ne prennent pas en considération la flexibilité des routages alternatifs et la plupart des études qui prennent en compte ce point, règlent le problème de la sélection des routages avant le début de la production.

Cette approche n'est pas applicable pour les systèmes flexibles de production aléatoires, où on ne peut pas prévoir l'arrivée ou l'entrée des pièces dans le système avant le début de la production. Car les routages des pièces peuvent être différents même pour des pièces de même type. Ainsi le système de commande d'un FMS aléatoire est obligé d'utiliser effectivement et efficacement la flexibilité des opérations et des routages en temps réel pour avoir la capacité de s'adapter, avec l'arrivée aléatoire des pièces et des événements imprévus (Mamalis, 1995). L'emploi des règles d'affectation comme outils de décision, pour la commande et l'ordonnancement des FMS en temps réel, à été déjà traité par plusieurs études. Mais

la nature myope des règles d'affectation mène à des ordonnancements imparfaits, puisque ces règles ne captent pas les informations correspondantes à certains niveaux des systèmes de production. En plus l'efficacité des règles d'affectation dépend des caractéristiques des systèmes de production, des conditions sur les opérations de traitement et des mesures de performances du système (Kouiss, 1997).

Les manques des méthodes d'ordonnement des FMS en temps réel, qui utilisent la flexibilité des opérations et des routages sont la force motrice de la règle de sélection des routages alternatifs en temps réel DMM. Dans cet article nous allons présenter une étude comparative entre la règle DMM et la règle DMM modifiée à l'aide de la simulation d'un modèle FMS.

2. Présentation des méthodes DMM et DMM modifiée :

2.1 Présentation de la règle DMM (Saygin, 2001):

Dans ce paragraphe nous présentons la règle DMM (Dissimilarity maximization method) en proposant son algorithme où nous allons montrer les différentes étapes à suivre pour intégrer la règle DMM comme outil de sélection de routages alternatifs en temps réel.

Nous montrons dans ce qui suit, la manière d'appliquer la règle DMM dans un système flexible de production afin de sélectionner un routage parmi les routages disponibles pour chaque type de pièce. Les pièces qui arrivent en premier ont la plus grande priorité suivant la règle FIFO (First in First out), les autres pièces restent en attente dans les files d'attente d'entrée ou de sortie des différentes machines ou dans la station de chargement. L'algorithme de la règle DMM est donné comme suit:

Etape 1 : Tous les routages sont libres (disponible) donc $X(i) = 0$.

Où $X(i)$ représente le coefficient de disponibilité du routage i , il prend la valeur 0 ou 1.

Etape 2 : Calcul des coefficients de dissimilitude D_{ij} comme suit :

$$D_{ij} = \frac{\text{Nombres de type de machine non commune entre les routages } i \text{ et } j}{\text{Nombres de machine total entre les routages } i \text{ et } j}$$

Etape 3 : Création des pièces.

Etape 4 : Selon le type de la pièce testée s'il y'a au moins un routage libre et au

moins une place libre dans la file d'attente de la station de chargement.

Etape 5 : Si la condition précédente n'est pas vérifiée, la pièce va dans une file d'attente jusqu'à ce que la condition soit vérifiée.

Etape 6 : Si la condition de l'étape 4 est vérifiée alors on calcule la somme :

$$S(j) = \sum_{i=1}^q X(i) D(i, j).$$

Où $D(i,j)$ Coefficient de dissimilitude.

Etape 7 : Trouver le maximum de $S(j)$.

Etape 8 : Le routage j correspondant à la valeur de $S(j)$ trouvée dans l'étape précédente est occupé donc : $X(j)=1$ (Le routage j contient une seule pièce à la fois).

Etape 9 : Traitement de la pièce selon le routage sélectionné j .

Etape 10 : A la fin du traitement, le routage devient de nouveau disponible $X(j)=0$.

Etape 11 : Sortie de la pièce du système.

- **Remarque :** Ce cycle va se répéter de l'étape 3 à l'étape 11 à chaque création d'une pièce, jusqu'à la fin du temps de simulation.

2.2 Présentation de la règle DMM modifiée (Hassam, 2006):

Dans cette section nous allons expliquer la règle DMM modifiée que nous avons développée à partir de la règle DMM déjà citée précédemment, Cette règle est aussi utilisée dans la sélection des routages alternatifs en temps réel dans un FMS.

Dans notre étude de la règle DMM comme présentée par (Saygin, 2001) et en utilisant le même système, nous avons remarqué que pour un taux de création de pièces important et pour une capacité des tailles de files d'attentes faible:

- Le système de production est saturé.
- Le taux d'utilisation des machines et du transporteur est assez faible.

Ce qui va influencer sur les performances du système de production. Pour cela nous proposons la règle DMM modifiée afin d'améliorer la règle DMM et augmenter les performances du système de production, donc l'augmentation du taux de production et l'augmentation de l'utilisation des machines et du système de transport.

Dans la règle DMM, après avoir sélectionné un routage pour une pièce, ce routage ne peut pas être utilisé par une autre pièce tant que la première pièce n'est pas sortie du système donc chaque routage ne peut contenir qu'une seule pièce à la fois. Notre modification de cette règle vise à garder le même principe qui dépend de la maximisation des coefficients de dissimilitude pour la sélection des différents routages alternatifs mais en affectant plusieurs pièces à un seul routage. Alors si tous les routages sont sélectionnés par une pièce, la pièce suivante va être acheminée dans le routage où la file d'attente de la première machine de ce routage, contient au moins une place libre.

Dans ce paragraphe nous montrons l'intégration de la règle DMM modifiée, dans un système flexible de production pour la sélection d'un routage alternatif parmi les routages disponibles pour chaque type de pièce. Les pièces arrivant en premier ont une priorité plus élevée suivant la règle FIFO (First In First Out) les autres pièces restent en attente dans les files d'attentes d'entrée ou de sortie des différentes machines ou dans la station de chargement. La règle DMM modifiée va utiliser l'algorithme suivant pour la sélection des routages alternatifs en temps réel dans un système flexible de production.

Etape 1 : Tous les routages sont libres (disponible) donc $X(i) = 0$.

Où $X(i)$ représente le coefficient de disponibilité du routage i , il prend la valeur 0 ou 1.

Etape 2 : Calcul des coefficients de dissimilitude D_{ij} comme suit :

$$D_{ij} = \frac{\text{Nombres de type de machine non commune entre les routages } i \text{ et } j}{\text{Nombres de machine total entre les routages } i \text{ et } j}$$

Etape 3 : Création des pièces.

Etape 4 : Selon le type de la pièce testée :

- S'il y'a au moins un routage libre et au moins une place libre dans la file d'attente de la station de chargement.

Ou

- Si tout les routages sont occupés et la file d'attente d'entrée des premières machines de ces routages contient au moins une place libre et ces machines ne sont pas en panne.

Etape 5 : Si la condition précédente n'est pas vérifiée, la pièce va dans une file d'attente jusqu'à ce que la condition soit vérifiée.

Etape 6 : Si la condition de l'étape 4 est vérifiée alors on va calculer la somme :

$$S(j) = \sum_{i=1}^q X(i) D(i, j).$$

Où $D(i,j)$ Coefficient de dissimilitude.

Etape 7 : Tester, si on a trouvé un maximum de $S(j)$ (Il y'a des routages libres).

Etape 8 : Si la condition précédente est vérifiée alors, aller à l'étape 10.

Etape 9 : Si la condition de l'étape 7 n'est pas vérifiée, alors sélectionner le routage où la file d'attente d'entrée de sa première machine contient au moins une place libre.

Etape 10 : Le routage j sélectionné d'après l'étape 7 ou l'étape 9 est donc occupé,

$$X(j)=1.$$

Etape 11 : Traitement de la pièce selon le routage sélectionné j .

Etape 12 : A la fin du traitement, le routage devient de nouveau disponible $X(j)=0$.

Etape 13 : Sortie de la pièce du système.

- **Remarque :** Ce cycle va se répéter de l'étape 3 à l'étape 11 à chaque création d'une pièce, jusqu'à la fin du temps de simulation.

3. Présentation du modèle FMS étudié :

Pour faire la comparaison entre les deux règles DMM et DMM modifiée, nous avons étudié et simulé un système flexible de production.

Ce système contient sept machines et deux stations : une station de chargement et une de déchargement. Six types de pièces différentes sont traités dans le système.

Les machines et les stations qui composent le système étudié sont définies comme suit :

- Deux fraiseuses verticales (FV).
- Deux fraiseuses horizontales (FH).
- Deux tours (T).
- Une toupie (TP).

- Une station de chargement (SC).
- Une station de déchargement (SD).

Chaque machine comporte une file d'attente d'entrée et une file d'attente de sortie, la station de chargement contient aussi une file d'attente d'entrée.

La configuration du système flexible de production est donnée dans la figure suivante :

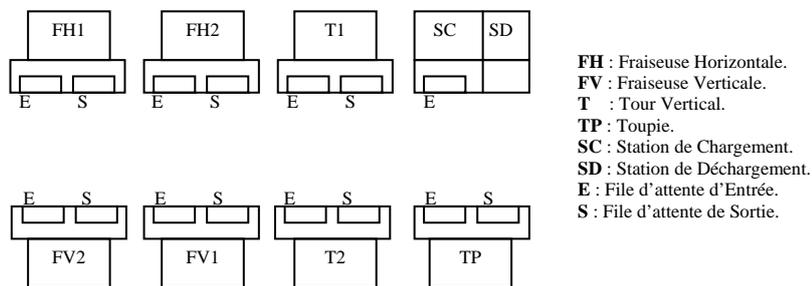


Figure 1. Configuration du modèle FMS étudié (Saygin, 2001).

Les routages alternatifs et les temps de traitement de chaque type de pièce sont donnés dans le tableau suivant :

| Type de | Taux d'arrivée | Routages & temps de traitement (min) |
|---------|----------------|---------------------------------------|
| A | 17% | SC – T1 (30) – FV1 (20) - SD |
| | | SC – T1 (30) – FV2 (20) – SD |
| | | SC – T2 (30) – FV1 (20) – SD |
| | | SC – T2 (30) – FV2 (20) - SD |
| B | 17% | SC – T1 (20) – TP (1) – FV1 (15) – SD |
| | | SC – T1 (20) – TP (1) – FV2 (15) – SD |
| | | SC – T2 (20) – TP (1) – FV1 (15) – SD |
| | | SC – T2 (20) – TP (1) – FV2 (15) – SD |
| C | 17% | SC – T1 (40) – FV1 (25) - SD |
| | | SC – T1 (40) – FV2 (25) – SD |
| | | SC – T2 (40) – FV1 (25) – SD |

| | | |
|---|-----|---|
| | | SC – T2 (40) – FV2 (25) – SD |
| D | 21% | SC – T1 (40) – TP (1) – T1 (20) – FH1 (35) – SD |
| | | SC – T1 (40) – TP (1) – T1 (20) – FH2 (35) – SD |
| | | SC – T1 (40) – TP (1) – T2 (20) – FH1 (35) – SD |
| | | SC – T1 (40) – TP (1) – T2 (20) – FH2 (35) – SD |
| | | SC – T2 (40) – TP (1) – T1 (20) – FH1 (35) – SD |
| | | SC – T2 (40) – TP (1) – T1 (20) – FH2 (35) – SD |
| | | SC – T2 (40) – TP (1) – T2 (20) – FH1 (35) – SD |
| | | SC – T2 (40) – TP (1) – T2 (20) – FH2 (35) – SD |
| E | 20% | SC – T1 (25) – TP (1) – T1 (35) – FH1 (50) – SD |
| | | SC – T1 (25) – TP (1) – T1 (35) – FH2 (50) – SD |
| | | SC – T1 (25) – TP (1) – T2 (35) – FH1 (50) – SD |
| | | SC – T1 (25) – TP (1) – T2 (35) – FH2 (50) – SD |
| | | SC – T2 (25) – TP (1) – T1 (35) – FH1 (50) – SD |
| | | SC – T2 (25) – TP (1) – T1 (35) – FH2 (50) – SD |
| | | SC – T2 (25) – TP (1) – T2 (35) – FH1 (50) – SD |
| | | SC – T2 (25) – TP (1) – T2 (35) – FH2 (50) – SD |
| F | 8% | SC – FH1 (40) – SD |
| | | SC – FH2 (40) – SD |

Tableau 1. Routages alternatifs et temps de traitement des pièces (Saygin, 2001).

Les opérations sur le système flexible de production étudié sont basées sur les suppositions suivantes :

- Les routages alternatifs de chaque type de pièce sont connus avant le début de la production.
- Le temps de traitement est déterminé et il comprend le temps de changement des outils et le temps d'exécution de la machine.
- Le temps de traitement d'une opération est le même sur les machines alternatives identifiées pour cette opération.
- Chaque machine peut traiter une seule pièce à la fois.

4. Résultats et interprétations :

Dans cette section on va présenter quelques résultats obtenus après la simulation des deux méthodes, ainsi que les interprétations de ces résultats.

Les deux méthodes ont été simulées sur une durée de 20000 heures avec 10 réplifications pour chaque simulation.

4.1 Taux de production :

Dans ce paragraphe nous allons présenter les résultats sur le taux de production. Ces résultats sont la moyenne de dix réplifications, obtenus après la simulation des deux méthodes.

Le taux de sortie des pièces est calculé en divisant le nombre de pièces sorties du système sur le nombre de pièces créées, afin de faire une normalisation.

La figure 2 représente le taux de pièces sorties du système en fonction du taux de création des pièces et pour une capacité des files d'attente égale à 2.

La méthode DMM modifiée donne de meilleurs résultats pour les files d'attente de petite capacité. En augmentant la capacité des files d'attente le taux de production est presque identique pour les deux méthodes.

Alors on peut dire que la DMM modifiée augmente le taux de production pour un système saturé.

| Taux de création des pièces (1/min) | | 1/40 | 1/35 | 1/30 | 1/25 | 1/20 | 1/15 | 1/10 | 1/5 |
|-------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taux de sortie des pièces (%) | DMM modifiée | 99,99 | 99,99 | 99,98 | 99,71 | 84,47 | 60,73 | 41,67 | 21,15 |
| | DMM | 99,99 | 99,99 | 99,97 | 81,4 | 24,65 | 32,05 | 15,43 | 8,88 |

Tableau 2. Taux de sortie des pièces pour une capacité de file d'attente = 2.

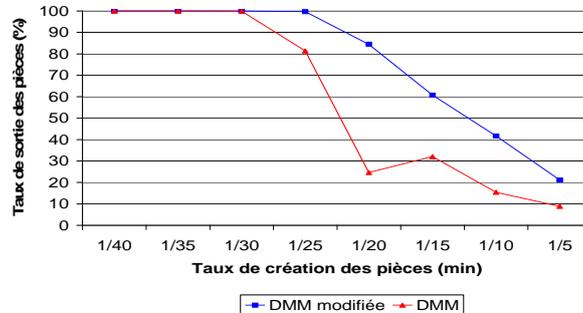


Figure 2. Taux de sortie des pièces pour une capacité de file d'attente = 2.

4.2 Taux d'utilisation des machines FV1 et FV2 :

Le taux d'utilisation des machines est un critère très important dans la mesure des performances d'un système de production, les courbes de la figure 3 nous donnent le taux d'utilisation moyen des machines FV1 et FV2. Nous pouvons bien remarquer que le taux d'utilisation des fraiseuses verticales est plus élevé pour la DMM modifiée, pour un taux de création des pièces supérieur à 1/25. Donc pour un système saturé la DMM modifiée a augmenté le taux d'utilisation des machines FV1 et FV2 (même chose pour les autres machines), cette augmentation peut être expliquée par le nombre de pièces qui a augmenté dans le système lors de l'utilisation de la règle DMM modifiée.

| Taux de création des pièces (1/min) | | 1/40 | 1/35 | 1/30 | 1/25 | 1/20 | 1/15 | 1/10 | 1/5 |
|--|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taux d'utilisation des machines FV1 et FV2 (%) | DMM modifiée | 12,70 | 14,61 | 16,99 | 20,32 | 21,65 | 17,52 | 21,13 | 21,58 |
| | DMM | 12,69 | 14,58 | 17,04 | 16,65 | 6,26 | 10,98 | 7,88 | 9,08 |

Tableau 3. Le taux d'utilisation des machines FV1 et FV2 pour une capacité de file d'attente = 2.

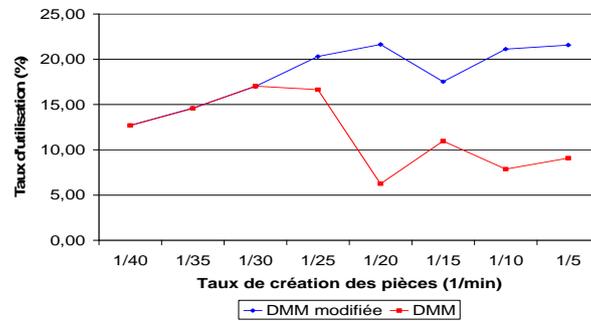


Figure 3 Le taux d'utilisation des machines FV1 et FV2 pour une capacité de file d'attente = 2.

4.3 Taux d'utilisation de l'AGV :

Dans cette partie nous avons illustré les taux d'utilisation de l'AGV, la figure 4 montre que l'utilisation de l'AGV est plus importante pour la méthode DMM modifiée pour des taux de création supérieur à 1/25, cela est dû au nombre de pièce élevé dans le système dans le cas de l'utilisation de la règle DMM modifiée.

| Taux de création des pièces (1/min) | 1/40 | 1/35 | 1/30 | 1/25 | 1/20 | 1/15 | 1/10 | 1/5 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taux d'utilisation de l'AGV (%) - DMM modifiée | 14,98 | 17,46 | 21 | 27,31 | 30,26 | 29,16 | 30,19 | 30,44 |
| Taux d'utilisation de l'AGV (%) - DMM | 15 | 17,4 | 20,93 | 21,67 | 8,43 | 14,35 | 10,55 | 12,08 |

Tableau 4. Le taux d'utilisation de l'AGV pour une capacité de file d'attente = 2.

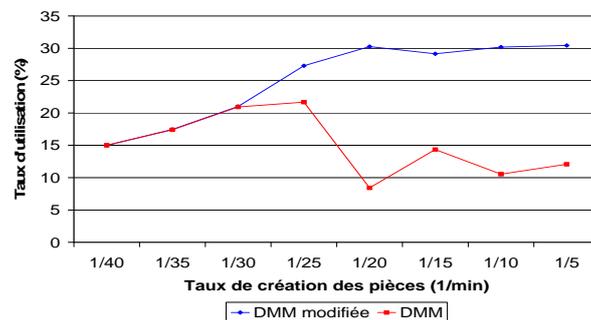


Figure 4. Le taux d'utilisation de l'AGV pour une capacité de file d'attente = 2.

4.4 Taux de production en présence de pannes :

L'introduction des pannes dans le système, nous montre que le taux de production pour la règle DMM modifiée est nettement supérieur à celui de la règle DMM pour un taux de création supérieur ou égale à 1/25 et avec une capacité de file d'attente égale à 2 (voir figure 5).

D'après ces résultats, nous pouvons constater que le taux de production en utilisant la règle DMM modifiée est plus important que lors de l'utilisation de la règle DMM pour des taux de création élevés. Donc le taux de production d'un système saturé est plus élevé pour la DMM modifiée même avec la présence des pannes.

| Taux de création des pièces (1/min) | | 1/40 | 1/35 | 1/30 | 1/25 | 1/20 | 1/15 | 1/10 | 1/5 |
|-------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taux de sortie des pièces (%) | DMM modifiée | 99,99 | 99,97 | 99,62 | 85,02 | 66,70 | 50,91 | 34,29 | 17,04 |
| | DMM | 99,99 | 99,97 | 99,95 | 53,07 | 32,46 | 29,29 | 15,43 | 8,55 |

Tableau 5. Taux de sortie des pièces pour une capacité de file d'attente = 2.

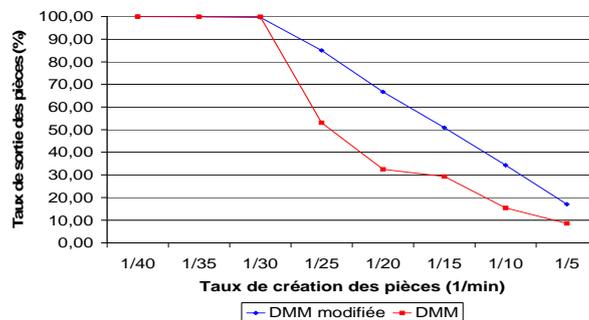


Figure 5. Taux de sortie des pièces pour une capacité de file d'attente = 2.

4.5 Taux d'utilisation des machines FV1 et FV2 avec présence de pannes:

Comme nous pouvons bien le remarquer sur la figure 6, avec un taux de création de pièces supérieur à 1/30, le taux d'utilisation des machines est toujours plus important en utilisant la règle DMM modifiée. Ce qui nous ramène à dire que l'utilisation de la règle DMM modifiée augmente l'utilisation des machines pour des systèmes saturés.

| Taux de création des pièces (1/min) | | 1/40 | 1/35 | 1/30 | 1/25 | 1/20 | 1/15 | 1/10 | 1/5 |
|--|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taux d'utilisation des machines FV1 et FV2 (%) | DMM modifiée | 12,79 | 14,67 | 16,89 | 17,35 | 17,06 | 17,25 | 17,50 | 17,33 |
| | DMM | 12,66 | 14,56 | 16,99 | 10,86 | 8,23 | 9,91 | 7,96 | 8,72 |

Tableau 6. Le taux d'utilisation des machines FV1 et FV2 pour une capacité de file d'attente = 2.

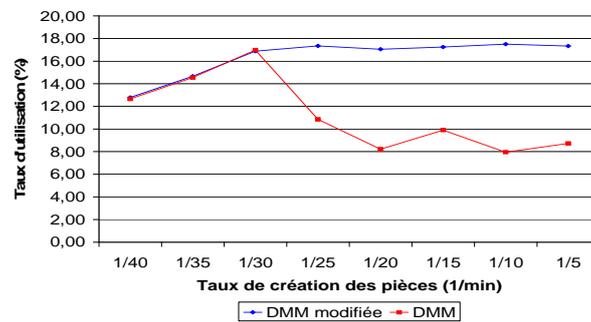


Figure 6. Le taux d'utilisation des machines FV1 et FV2 pour une capacité de file d'attente = 2.

4.6 Taux d'utilisation de l'AGV avec présence de pannes :

La figure suivante (figure 7) nous montre que, pour un système saturé le taux d'utilisation de l'AGV est plus important pour la règle DMM modifiée même avec la présence de pannes, cela est dû aux taux de production élevé et à l'augmentation de l'utilisation des machines dans la règle DMM modifiée.

| Taux de création des pièces (1/min) | | 1/40 | 1/35 | 1/30 | 1/25 | 1/20 | 1/15 | 1/10 | 1/5 |
|-------------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taux d'utilisation de l'AGV (%) | DMM modifiée | 14,98 | 17,55 | 21,19 | 24,28 | 24,07 | 24,54 | 24,67 | 24,54 |
| | DMM | 15,00 | 17,61 | 21,06 | 14,20 | 10,94 | 12,98 | 10,41 | 11,59 |

Tableau 7. Le taux d'utilisation de l'AGV pour une capacité de file d'attente = 2.

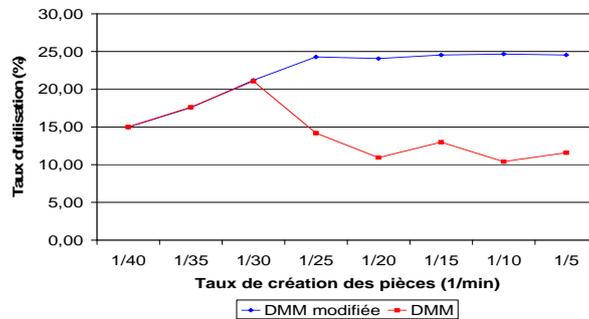


Figure 7. Le taux d'utilisation de l'AGV pour une capacité de file d'attente = 2.

5. Conclusion :

Dans cet article nous avons tout d'abord donné une présentation des deux règles de sélection de routage alternatif DMM et DMM modifiée puis on a présenté le modèle FMS simulé par le logiciel ARENA dans la section 3, dans la section qui suit nous avons donné les résultats et les interprétations obtenus des simulations effectuées.

Les résultats obtenus ont tous montré que la méthode DMM modifiée a donné des résultats meilleurs que ceux de la méthode DMM pour un système de production saturé. Pour des taux de création de pièce élevés et des files d'attente petite, la méthode DMM modifiée a nettement augmenté les performances du système de production simulé, d'où l'augmentation du taux de production, du taux de l'utilisation des machines et l'utilisation du système de manutention, cette amélioration des performances est valable même avec la présence de pannes dans le système.

6. Bibliographie :

- [BAS 94] Basnet C., Mize J. H., "Scheduling and control of flexible manufacturing systems: a critical review", *International journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 7, n° 6, 1994, p. 340-355.
- [HAS 06] Hassam A., "Manipulation des routages alternatifs en temps réel dans les systèmes flexibles de production", Mémoire de magister, Laboratoire d'Automatique de Tlemcen, Université de Tlemcen.
- [ISH 96] Ishii N., Muraki M., "A process-variability-based on-line scheduling system in multi product batch process", *Computing in Chemical Engineering*, vol. 20, 1996, p. 217-234.
- [KOU 97] Kouiss K., Pierreval H., Mebarki N., "Using multi-agent architecture in FMS for dynamic scheduling", *Journal of intelligent Manufacturing*, vol. 8, 1997, p. 41-47.

- [LIU 97] Liu J., MacCarthy B. L., "A goal MILP model for FMS scheduling", *European journal of operational research*, vol. 100, 1997, p. 441-453.
- [MAM 95] Mamalis A. G., Malagardis I., Pachos E., "On-line scheduling in metal removal processing using variable routing and control strategies", *Computer Integrated Manufacturing Systems*, vol. 8, 1995, p. 35-40.
- [NOF 79] Nof S., Barash M., Solberg J., "Operational control of item flow in versatile manufacturing system", *International journal of production research*, vol. 17, 1979, p. 479-489.
- [PEN 98] Peng C., Chen F. F., "Real-time control and scheduling of flexible manufacturing systems : a simulation based ordinal optimization approach", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 14, n° 10, 1998, p. 775-786.
- [SAY 95] Saygin C., Kilick S. E., Toth T., Erdelyi F., "On scheduling approaches of flexible manufacturing systems: gap between theory and practice", *3rd IFAC/IFIP/IFORS Workshop – Intelligent Manufacturing Systems 95*, Pergamon/Elsevier Science, 1995, p. 61-66.
- [SAY 96] Saygin C., Kilick S. E., "Effect of flexible process plans on performance of flexible manufacturing systems", *Proceedings of 7th International DAAM Symposium*, 1996, p.393-394, Vienna.
- [SAY 97] Saygin C., Kilick S. E., "Scheduling of flexible manufacturing system", *MicroCAD 97 Conference*, vol. H, 1997, pp. 19-23, Miskolc.
- [SAY 99] Saygin C., Kilic S. E., "Integrating flexible manufacturing systems with scheduling in flexible manufacturing system", *International journal of advanced Manufacturing Technology*, vol. 15, n° 4, 1999, p.268-280.
- [SAY 01] Saygin C., Chen F.F., Singh J., "Real-Time Manipulation of alternative Routings in Flexible Manufacturing Systems: A simulation Study", *International journal of advanced Manufacturing Technology*, vol. 18, 2001, p. 755-763.
- [SHU 96] Shukla C. S., Chen F. F., "The state of the art in intelligent real-time FMS control: a comprehensive survey", *Journal of intelligent Manufacturing*, vol 7, 1996, p. 441-455.
- [WU 89] Wu S. Y. D., Wysk., R. A., "An application of discrete event simulation to on-line control and scheduling in flexible manufacturing", *International journal of Production Research*, vol. 27, 1989, p. 1603-1623.