

Modélisation et analyse d'un atelier flexible par les réseaux de Petri

SAGGADI samira

BENAZZOUZ djamel

Laboratoire LMSS - Université M'hamed Bougara
Boumerdes, 35000, Algérie.

saggasamira@yahoo.fr et dbenazzouz@umbb.dz

Abstract

Les systèmes flexibles de production, souvent mal maîtrisés, continuent à poser d'énormes problèmes de conception, de modélisation et de conduite. Si dans le passé, l'expérience était suffisante pour concevoir et piloter un système de production, des techniques de calcul, des méthodes de dimensionnement et de gestion sont maintenant exigées. La maîtrise et l'optimisation du fonctionnement d'un système flexible de production nécessitent la disposition d'un modèle fin de son comportement dynamique. Ce modèle est d'un grand secours pour la compréhension et la maîtrise du comportement du système étudié, c'est dans ce cadre que, dans ce papier, nous nous sommes intéressés à une modélisation et à une étude d'un atelier flexible. Nous avons adopté une approche de modélisation par les réseaux de Petri, qui sont un outil puissant et permettent une modélisation des Systèmes de Production (SDP). A l'aide de ce dernier, nous avons pu mettre en évidence et visualiser le comportement dynamique des différentes parties d'un atelier flexible de production. Nous avons également effectué à l'aide d'un outil de simulation une évaluation des performances de ce système. Un aspect important de l'évaluation de ces performances à savoir l'estimation du temps de séjour dans chaque places.

Mots clés : modélisation, réseaux de Petri, systèmes flexibles de production.

I. INTRODUCTION

Flexibilité, réactivité et agilité sont des qualités incontournables pour des systèmes de production qui se trouvent confrontées à une demande variée et fluctuante avec des contraintes de qualité et de délais de plus en plus fortes. Le défi pour les entreprises est donc d'installer des outils de production modulaires et flexibles avec des systèmes de pilotage capables de les gérer. Ces derniers doivent, d'une part, s'adapter à l'hétérogénéité des équipements disponibles (ordinateurs, MOCN, Robots, etc.), équipements pouvant être remplacés, supprimés ou reconfigurés en fonction des besoins, et d'autre part, être robustes face aux différents dysfonctionnements et aléas [1]. Souvent un dilemme subsiste de modélisation des systèmes flexibles de production, entre l'élaboration d'un modèle trop simpliste autorisant une analyse du comportement aisée du système manufacturière flexible mais éloigné de son comportement réel, et un modèle plus proche du système réel, mais dont l'étude est trop complexe. La complexité sans cesse grandissante des systèmes de production requiert de plus en plus de méthodes de représentation et de techniques d'analyse, permettant de tenir compte de manière efficace des différentes fonctionnalités associées au système, ainsi que de ses caractéristiques

temporelles. Cet impératif conduit inéluctablement à la nécessité de pouvoir disposer de méthodes formelles permettant de vérifier un certain nombre de propriétés d'intérêt du système modélisé. A cette fin notre choix s'est porté sur les réseaux de Petri [3].

II. LES ATELIERS FLEXIBLES

Un système flexible de production (SFdP) représente plusieurs cellules flexibles reliées entre elles par des véhicules filoguidés composant les diverses zones de production. Le système flexible est un système capable de s'adapter à toute nouvelle contrainte imposée par l'environnement dont lequel la production est gérée par un système informatique (changement de produit, modification de flux de production) [4].

III. LES RESEAUX DE PETRI

Le réseau de Petri est un outil mathématique permettant de décrire des relations existantes entre les conditions et les événements, de modéliser le comportement des systèmes dynamiques à événements discrets ou continus à vitesses constantes et à vitesses variables [2]. Un RdP se définit comme un quadruplet $(P, T, \text{Pré}, \text{Post})$ [5]. Où

P est l'ensemble des places symbolisées par des cercles et représentant des conditions

- Une ressource du système (ex : une machine, un stock, un convoyeur, ...)
- L'état d'une ressource du système (ex.: machine libre, stock vide, convoyeur en panne...)

T est l'ensemble des transitions; symbolisées par des tirets et représentant l'ensemble des événements (les actions se déroulent dans le système) dont l'occurrence provoque la modification de l'état du système. Un ensemble fini d'arcs orientés qui assurent la liaison d'une place vers une transition ou d'une transition vers une place.

IV. MODELISATION DE L'ATELIER FLEXIBLE

A. Description de l'atelier flexible

L'atelier flexible que nous allons étudier comporte essentiellement deux machines outils à commande numérique (MOCN): poste de fraisage (NASA II CNC) et un poste de perçage, comme le montre la fig.1.

» Le poste de perçage inclue un robot industriel **IBM 7535** avec un foret 1/4", perce des trous à chaque coin du bloc brute.
 » Le poste de fraisage reçoit des blocs bruts rectangulaires. Pour déplacer ces derniers entre les postes de travail et les postes de stockage, le FMS (flexibl manufacturing system) dispose d'un système de convoyage et un robot de manutention **GE P50**.

Le système de convoyeur se compose de:

Quatre chariots, **C1**, **C2**, **C3** et **C4** avec un système de fixation intégré, et deux tables de transfert **TT1** et **TT2** et un double convoyeur qui transporte le matériel à chaque poste de travail.

Le robot **GE P50** partage ses ressources pour charger et décharger le matériel entre le poste de travail CNC et le système de convoyeur.

Un contrôleur logique programmable **PLC** est utilisé pour coordonner et contrôler tous les mouvements des composants individuels dans le système.

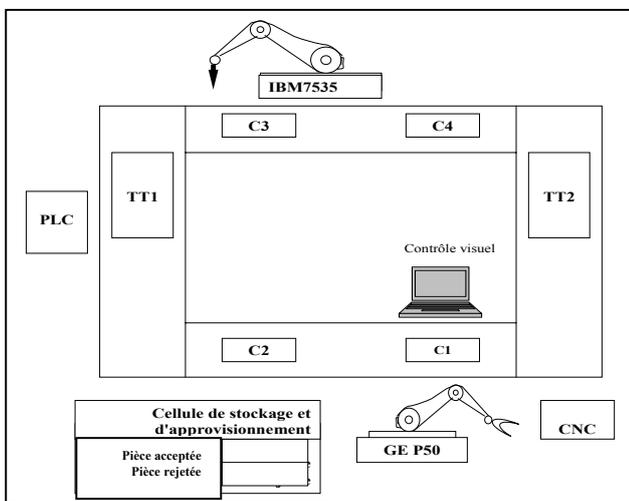


Fig.1. Présentation générale de l'atelier

Il y a aussi des composants auxiliaires : une station d'asservissement et un système de visualisation par ordinateur. La station d'asservissement comporte un système de nettoyage par un jet d'eau qui est appliqué sur les blocs bruts, elle contient aussi deux casiers, un pour les blocs acceptés et l'autre pour les blocs rejetés. Le système de visualisation par ordinateur fournit une inspection automatique des blocs.

B. Cycle de fonctionnement

Le cycle de fonctionnement de ce système se décompose en deux étapes: L'étape d'initialisation et l'étape d'usinage.

Au départ, tous les quatre chariots sur le système de convoyeurs sont vides et disponibles pour être chargés de blocs bruts à partir de la station d'asservissement. Le robot **GE P50** charge quatre blocs, un par un, dans les quatre chariots sur le système de convoyeur. Les chariots une fois chargés, se déplacent dans le sens des aiguilles d'une montre.

Les places acquises par les quatre chariots sont montrées dans la Fig.2 et définissent l'étape d'initialisation.

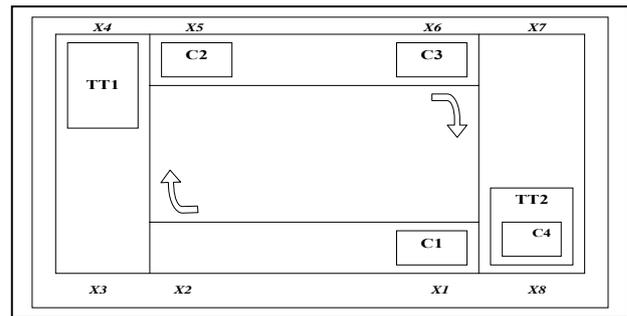


Fig.2. positionnement des chariots dans une étape d'initialisation

La phase d'usinage s'effectue en étapes. Le robot **GE P50** va au convoyeur, décharge le bloc brut du chariot, à la place X1 et le place sur le système de fixation sur la table de la machine outil CNC. Une fois le bloc chargé sur la machine, le robot recule et la machine commence le fraisage du bloc brut. Après l'opération de fraisage le bras du robot va à la fraise pour enlever le bloc usiné. Le robot rend le bloc fini au même chariot sur le convoyeur. Un signal est envoyé à la camera de visualisation pour inspecter le bloc.

Le système de visualisation par ordinateur émet un signal qui dirige le robot pour accepter ou rejeter le bloc. Le robot exécute un programme pour placer un bloc fini dans le casier des blocs acceptés ou rejetés, ensuite le robot **GE P50** va à la station d'asservissement et charge un nouveau bloc brut dans le chariot. Au même temps, le robot **IBM 7535** perce quatre trous (un à chaque point) sur chaque bloc brut, comme le chariot est arrêté à la station de perçage après l'opération de perçage, le bloc va se placer en X8 par la table de transfert **TT2** et se prépare pour aller se placer en X1 quand la prochaine étape de travail est enclenchée.

La simulation et l'analyse par les réseaux de Petri prennent en charge le système après la phase d'initialisation

C. Modélisation de l'atelier

L'atelier flexible peut être décomposé naturellement dans les parties suivantes: système du convoyeur, fraiseuse **NASA II**, robot **GE P50**, système de contrôle visuel par ordinateur, et système d'asservissement, et station de perçage.

Nous nous intéressons à la modélisation du convoyeur, fraiseuse ainsi que la station de perçage[6].

D. Modélisation du système du convoyeur

Il est observé que les quatre chariots se déplacent de leur position initiale et y retournent en cycle complet. Chaque chariot peut se déplacer vers seulement une direction et chacune des tables de transfert porte un chariot d'une place à une autre, et revient une fois le transfert effectué. Les opérations de base des chariots et tables de transfert 'se déplacent' et 'attendent', donc les réseaux de Petri qui répond parfaitement pour la modélisation du système de convoyeur, du fait qu'on peut associer une durée déterministe à la transition désirée sont les réseaux de Petri temporisés.

Il y a huit places, X1 – X8, pouvant être modélisé comme ressources seules, chaque place ne peut être occupée que par un seul chariot à la fois.

On représente chaque déplacement entre deux places comme une transition, et chaque attente à une position comme une place, et on représente chaque transition de T₁ à T₁₀ et chaque place de P₁ à P₈.

Finalement, la disponibilité des places X1-X8 est modélisée comme places P₉-P₁₆. La signification de toutes places et transition est montrée dans le tableau I et II. Il est noté que les places P₁ et P₅ sont modélisées indépendamment par la suite.

Le modèle obtenu est représenté dans la Fig.3

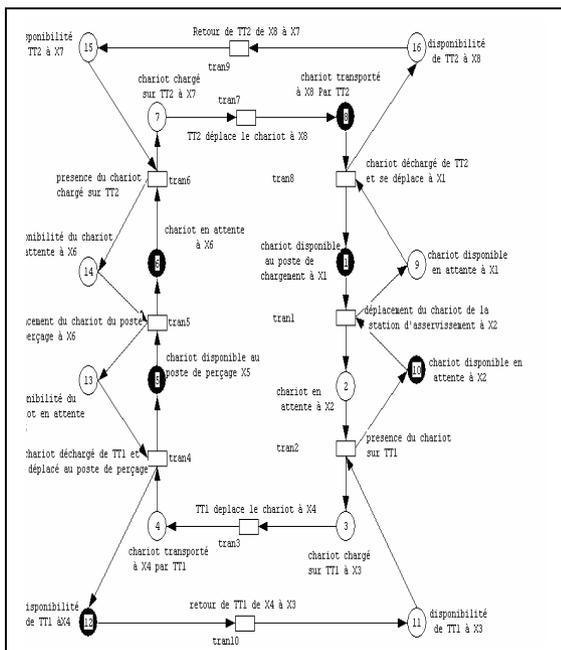


Fig.3. Modélisation de l'atelier par les Réseaux de Petri stochastiques

TABLEAU I
LA SIGNIFICATION DES PLACES

Place	Designation
P ₁	Chariot disponible à X1
P ₂	Chariot en attente à X2
P ₃	Chariot chargé sur TT1 à X3
P ₄	Par TT1 Chariot transporté à X4
P ₅	Chariot au poste de perçage à X5
P ₆	Chariot en attente à X6
P ₇	Chariot chargé sur TT2 à X7
P ₈	Chariot transporté vers X8 par TT2
P ₉	Chariot disponible en attente à X1
P ₁₀	Chariot disponible en attente à X2
P ₁₁	Disponibilité de TT1 à la place X3
P ₁₂	Disponibilité de TT1 à la place X4
P ₁₃	Disponibilité du chariot à X5
P ₁₄	Disponibilité du chariot à X6
P ₁₅	Disponibilité de TT2 à la place X7
P ₁₆	Disponibilité de TT2 à la place X8

TABLEAU II
SIGNIFICATION DES TRANSITIONS

transition	Designation
------------	-------------

T ₁	Déplacement du chariot de la station d'asservissement à X2
T ₂	Présence du chariot sur TT1
T ₃	TT1 déplace le chariot à X4
T ₄	Chariot déplacé au poste de perçage à X5
T ₅	Déplacement du chariot de X5 à X6
T ₆	Chariot chargé sur TT2
T ₇	TT2 déplace le chariot à X8
T ₈	TT2: mouvement de X8 à X1
T ₉	Retour de TT2 de X8 à X7
T ₁₀	Retour de TT1 de X4 à X3

E. Modélisation de la macro place P1 qui représente (la fraiseuse, robot GE P50, système de contrôle visuel par ordinateur et le système d'asservissement)

Tous ces composants sont modélisés ensemble parce qu'ils sont liés au robot **GE P50**. La liste des activités pour ces composants résolus est comme suit, fraisage, déchargement, inspection, déplacement au casier accepté ou au casier rejeté, chargement d'un nouveau bloc brut dans le chariot. Nous supposons que les temps de ces activités sont connus donc l'approche nécessaire pour modéliser ces composants est les RdP ordinaires.

Les places représentant ces activités sont P₁₂ et P₁₇. Avant de charger, une place P₁₁, la disponibilité de matière première dans un chariot, a besoin d'être vérifiée au sommet. Et, après la mise en place par le robot d'un nouveau bloc dans le chariot, une place P₁₈ a besoin d'être ajoutée pour représenter la disponibilité dans le chariot d'un nouveau bloc à usiner. Les transitions T₁₁ – T₁₇, a insérées entre les places comme dans la fig.4 représentent le début ou la fin d'un événement.

Finalement, les places modélisant la disponibilité du robot **GE P 50**, la fraiseuse, le système de contrôle visuel, et la matière première dans la partie d'asservissement, P₁₉ et P₁₁₂ sont représentées en parallèle avec les places apparentées. Les places sont interprétées dans le tableau III

TABLEAU III
SIGNIFICATION DES PLACES

place	Designation
P ₁₁	Brut à transporter sur le chariot
P ₁₂	Brut monté sur le poste de fraisage par le robot GE P50
P ₁₃	Opération de fraisage exécuté sur la matière première
P ₁₄	Retour du bloc usiné sur le chariot
P ₁₅	Inspection visuelle du bloc usiné
P ₁₆	Tri du bloc usiné vers le casier approprié
P ₁₇	Mise en place d'un bloc brut sur le chariot
P ₁₈	Chariot disponible à alimenter le système
P ₁₉	Robot GE P50 disponible
P ₁₁₀	Fraiseuse disponible
P ₁₁₁	Système d'inspection visuelle disponible
P ₁₁₂	Brut provenant du poste d'asservissement

D'après les marquages accessibles on a déduit les composantes répétitives suivantes. $T = [T_9, T_{10}]$

VI. EVALUATION DES PERFORMANCES PAR SIMULATION

Pour l'évaluation des performances du réseau trois résultats importants, doivent être constatés par simulation.

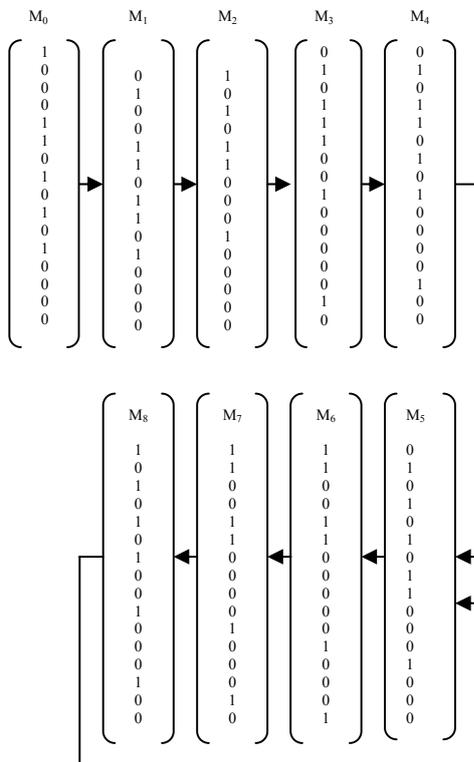
1. les fréquences moyennes de franchissement des transitions.
2. les marquages moyens des places en régime permanent.
3. les temps de séjour des marquages dans les places en régime permanent.

L'exécution par le logiciel nous donne

TABLEAU V
LES TRANSITIONS CONCURRENTES

$\{T_1, T_{10}\}$	pour le passage de	$M_0 \rightarrow M_1$
$\{T_2, T_8\}$	pour le passage de	$M_1 \rightarrow M_2$
$\{T_1, T_3, T_9\}$	pour le passage de	$M_2 \rightarrow M_3$
$\{T_6\}$	pour le passage de	$M_3 \rightarrow M_4$
$\{T_5, T_7\}$	pour le passage de	$M_4 \rightarrow M_5$
$\{T_4, T_8\}$	pour le passage de	$M_5 \rightarrow M_6$
$\{T_9, T_{10}\}$	pour le passage de	$M_6 \rightarrow M_7$
$\{T_2, T_6\}$	pour le passage de	$M_7 \rightarrow M_8$
$\{T_1, T_3, T_5, T_7\}$	Le retour de	$M_8 \rightarrow M_5$

A. Arbre de couverture



B. Interprétation de l'arbre de couverture

On remarque d'après cet arbre de couverture que notre réseau n'est pas réinitialisable, mais contient une boucle

fortement connexe incluant toutes les places est les transitions. Donc on peut modifier le marquage initial choisi on le remplaçant par l'un des marquages appartenant à cette boucle qui rend le réseau réinitialisable, choisissons M_7 comme marquage initial pour le réseau modifié.

M_0 : marquage initial avant modification. $M_0(1000110101010000)$

M'_0 :marquage initial après modification. $M'_0(0101010110001000)$

Le réseau obtenu après modification du marquage est le suivant

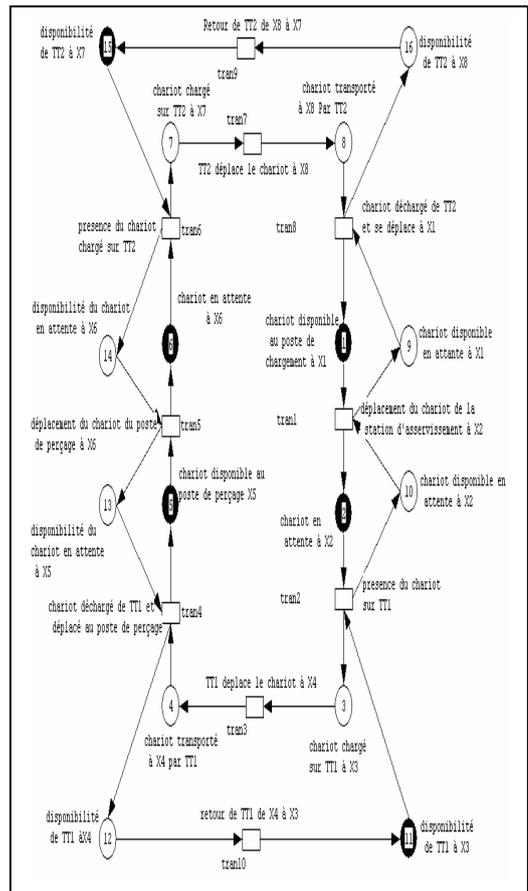


Fig.6. Modèle de l'atelier après modification

C. Graphe des marquages accessibles

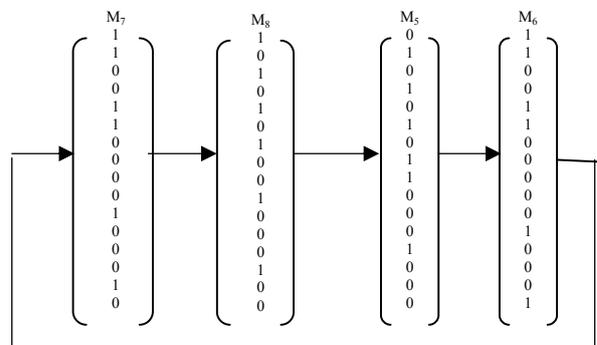


TABLEAU VI
STATISTIQUES SUR LES PLACES

Places	TEMPS SEJOUR(s)
Places1	.740000E+02 voir détail
Places2	.617928E+02
Places3	.134325E+01
Places4	.138326E+02
Places5	.730000E+02 voir détail
Places6	.682217E+02
Places7	.138268E+01
Places8	.439566E+01
Places9	.000000E+00
Places10	.000000E+00
Places11	.588241E+02
Places12	.000000E+00
Places13	.000000E+00
Places14	.000000E+00
Places15	.682217E+02
Places16	.000000E+00

TABLEAU VII
STATISTIQUES DU POSTE DE FRAISAGE P₁

Placs	Durée (s)	Transitions	Temps de tir(s)
P ₁₁	1	T ₁₁ -T ₁₇	Immédiates=0
P ₁₂	5		
P ₁₃	45		
P ₁₄	5		
P ₁₅	10		
P ₁₆	3		
P ₁₇	5		
P ₁₈ -P ₁₁₂	0		

TABLEAU VIII
STATISTIQUES DU POSTE DE PERÇAGE P₅

Places	Durée(s)	Transitions	Temps de tir(s)
P ₅₁	1	T ₁ -T ₂	Immédiates=0
P ₅₂	72		
P ₅₃ -P ₅₄	0		

D. Analyse des temps de séjour dans les places

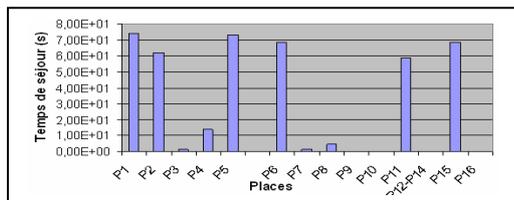


Fig.7. Temps de séjour dans les places

L'histogramme de cette figure.7 montre les temps de séjour dans chaque place.

Les temps de séjour dans les places P₁ et P₅ sont très importants car sont des macro places où s'effectuent plusieurs opérations.

On remarque que les temps de séjour dans les places P₂ et P₆ sont aussi importants par ce que sont des stations d'attente. Ainsi que dans les places P₁₁ et P₁₅ qui désignent la disponibilité des deux tables de transfert (TT1, TT2)

Les temps de séjour dans les places P₃, P₄, P₇, P₈ sont moins important car sont des places où les chariots sont chargés et transportés par les tables de transferts.

Par contre les temps de séjour dans P₉, P₁₀, P₁₂, P₁₄ et P₁₆ sont nuls par ce que ces places ne présentent pas des ressources.

E. Les temps de séjour dans les macro-places p₁ et p₅

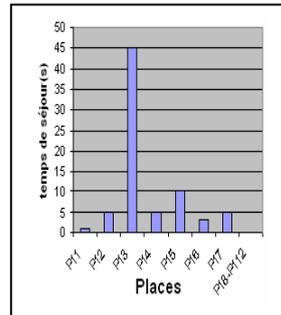


Fig.9. Temps de séjour de p1

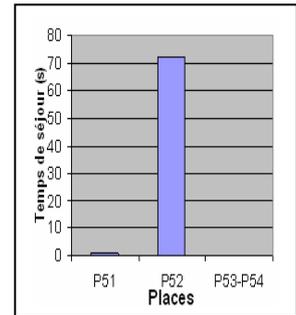


Fig.10. Temps de séjour de p5

- L'histogramme de la fig.9 montre les temps de séjour dans la macro place P₁. Le temps de séjour dans P₁₃ est élevé, car est une place où s'effectue l'opération de fraisage.
- L'histogramme de la fig.10 montre les temps de séjours dans la macro place P₅. Le temps de séjour dans P₅₂ est très élevé, car est une place où s'effectue l'opération de perçage.

VI. CONCLUSION

Il faut reconnaître que les systèmes flexibles représentent un outil merveilleux que la technologie met à notre disposition pour la réalisation des progrès sensibles et quelque soit les niveaux technologiques et humains des entreprises. La véritable nouveauté ne réside pas dans la technologie mise en œuvre, si ce n'est au niveau du logiciel de pilotage et de gestion. L'évolution se situe dans le mode de conception, dans la démarche qu'il faut appliquer et dans les opérations qu'il faut résoudre. A ce titre une analogie est possible avec la simulation, il faut avant de faire le traitement proprement dit réaliser un modèle.

REFERENCES

- [1] Khalid Kouiss et Nicolas Pezet, « Pilotage d'un système de production à l'aide d'une simulation en ligne » CPI,2003
- [2] Zerhouni, N. Alla, H. « Sur l'analyse des lignes de fabrication par réseaux de Petri continus ». In APII, p 253–276, 1992
- [3] R.David et H.Alla : " Du grafcet aux réseaux de Petri". 2^{ème} édition ; Hermès, Paris , 1997.
- [4] Tayeb Lemlouma, « Une étude d'approches heuristique pour l'ordonnancement des jobs dans le Flow-Shop », RIST Vol. 11 n^o 2, 2001.
- [5] Wael Khansa, « Réseaux de Petri P- Temporels contribution à l'étude des systèmes à évènements discrets» Thèse de doctorat, 190 p, SAVOIE, 1997
- [6] Samira, Saggadi. Djamel, Benazzouz, « Modélisation intégrée des politiques de maintenance et de production basée sur les réseaux de Petri » STMM'07, emp, bordj el bahri, Alger, 07-08 mai 2007 .