

Modélisation Fonctionnelle : un Outil pour la Maintenance des Systèmes de Production

Benbelkacem Samir, Henda-Zenati Nadia
Centre de Développement des Technologies Avancées, Cité du 20 Août 1956
Baba Hassen, Algérie
sbenbelkacem@cda.dz, nzenati@cda.dz

Abstract- Cet article propose une méthode de modélisation des systèmes de production en vue de faciliter leur maintenance. L'objectif de cette modélisation est de fournir les conditions nécessaires pour effectuer les opérations de maintenance dans de bonnes conditions. Dans notre cas, le modèle proposé repose sur l'aspect « opérations » qui sont exécutées par les différents systèmes de productions. La prise en compte de ce paramètre conduit à identifier les différentes pannes qui peuvent surgir au niveau d'une machine. Ceci est simplement traduit par un dysfonctionnement constaté au niveau d'une ou de plusieurs opérations. Le modèle fonctionnel proposé se base sur les réseaux de Petri qui permet de modéliser le comportement d'une machine et donner les informations nécessaires sur chaque opération.

Afin de rendre notre proposition plus représentative, nous avons focalisé notre étude sur un type particulier de systèmes de production. Il s'agit des systèmes d'alimentation.

I. INTRODUCTION

Aujourd'hui, les entreprises doivent évoluer dans un environnement très incertain dominé par une forte concurrence internationale. Pour rester compétitives, ces entreprises doivent s'adapter plus rapidement et être réactives au maximum. Afin d'atteindre cet objectif, les usines doivent maîtriser la capacité de leurs systèmes de production. Ainsi de nombreuses approches sont apparues pour la modélisation et l'étude de ces systèmes [4].

En outre, la cadence de production élevée et la technologie complexe avec laquelle sont conçus les systèmes de production actuels provoquent des irrégularités continues dans la production et ceci est dû aux pannes qui se produisent lors de la fabrication.

La maintenance est aujourd'hui reconnue comme facteur de performance et de compétitivité des entreprises, jouant un rôle fondamental dans la maîtrise du coût global des équipements, de la qualité et des délais de livraison des produits et services. Transformer la maintenance d'un centre de coûts en un centre de profit, nécessite ainsi une étude du comportement dynamique des systèmes de production en intégrant et évaluant différentes politiques de maintenance. Cet objectif passe nécessairement par l'utilisation combinée d'un ensemble de méthodes permettant entre autres, la prévention des défaillances, leur identification et leur maîtrise.

Parmi les approches développées ces dernières années pour répondre aux exigences des entreprises en terme de

maintenance, nous citons par exemple la mise au point d'outils de modélisation qui offrent une description détaillée sur le comportement des systèmes de production et permet d'identifier les pannes qui peuvent se produire et faciliter ainsi la démarche de maintenance.

Dans nos recherches, nous avons fait appel à un ensemble d'outils de modélisation pour procéder à une analyse et une évaluation de performances par l'intégration de la maintenance. Cette recherche est motivée par le constat du manque d'outils pour évaluer les systèmes de production en présence d'activités de maintenance. Nos recherches s'orientent ainsi vers des techniques d'évaluation de performances utilisant les réseaux de Petri. Les interactions entre la maintenance et la production doivent être analysées.

Le réseau de Petri est un outil de modélisation utilisé notamment par les concepteurs de modèles de systèmes de production, en particulier à cause de son support graphique qui permet de visualiser et de suivre le comportement d'un système pendant son évolution. L'outil a beaucoup évolué ces dernières décennies et a fait l'objet d'importants travaux [1].

Notre apport se porte sur un type particulier de systèmes de production. Il s'agit des systèmes d'alimentation. Malgré l'intérêt croissant que présentent ces systèmes, les études concernant leur modélisation restent insuffisantes. C'est pour cette raison qu'on s'intéresse à étudier les systèmes d'alimentation et leur influence dans le processus de fabrication.

L'alimentation est une activité industrielle importante qui mobilise les chercheurs. Compte tenu de l'importance qu'elle revêt dans la fabrication du produit, elle est aujourd'hui l'objet de multiples études dans le monde car les enjeux économiques sont importants [5].

Un dispositif d'alimentation (ou de distribution) est un ensemble d'équipements qui collaborent à la mise à disposition d'une pièce isolée et positionnée à partir d'un ensemble de pièces stockées (au pire en vrac) [6].

Pour qu'une opération d'assemblage puisse être réalisée dans de bonnes conditions, il est indispensable que les constituants du produit soient présentés, en entrée du poste de travail, avec une position et une orientation correctes en un endroit précis et ceci à une cadence convenable. Ce sont les objectifs d'un système d'alimentation ou d'une cellule d'alimentation (figure 1) [2].

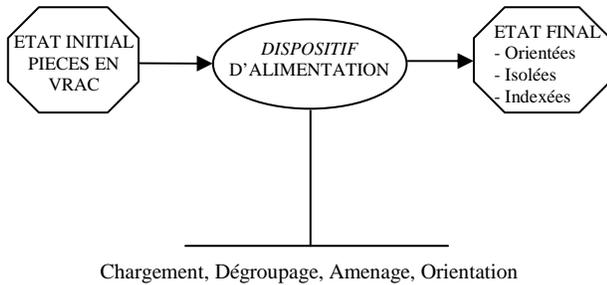


Fig. 1. Fonctions d'un dispositif d'alimentation.

Les formes de modélisation actuelles ne répondent pas de façon exhaustive aux attentes des systèmes d'alimentation surtout lorsqu'on a besoin de savoir l'état réel du système à un instant donné [3] et ensuite intervenir rapidement dans le cas de pannes ou de dysfonctionnements.

Dans cet article, le travail est divisé en deux parties. La première présente la nouvelle approche de modélisation proposée pour les systèmes d'alimentation qui se base sur les concepts du réseau de Petri. La deuxième partie aborde le principe de la maintenance et sa prise en compte par le modèle proposé dans la première partie.

II. POSITION DU PROBLEME

Avant de présenter la démarche de modélisation, nous allons définir les différentes fonctions que régit un système d'alimentation. Ces fonctions jouent un rôle clé pour l'identification des différentes opérations que doit exécuter le système.

Un dispositif d'alimentation fait toujours intervenir un certain nombre de fonctions pour assurer le parfait traitement de la pièce (ou du constituant qui désigne un ensemble de pièces assemblées) dans le poste de travail.

Ces fonctions sont :

Indexer, extraire (isoler, démêler, séparer, dégrouper), trier, retourner, localiser, guider, déplacer, charger/décharger, relâcher /saisir, reconnaître.

Indexer : pérenniser la position d'un constituant dans le temps pour le rendre insensible aux perturbations extérieures (vibrations, chocs,...).

Extraire : obtenir (retirer) un constituant unique à partir d'un ensemble de constituants.

La fonction extraire se divise, à son tour, en quatre sous-fonctions différentes.

1) Isoler : extraire un constituant à partir d'un ensemble de constituants disjoints.

2) Séparer : extraire un constituant à partir d'un ensemble de constituants liés (attachés).

3) Démêler : extraire un constituant à partir d'un ensemble de constituants imbriqués les uns dans les autres.

4) Dégrouper : extraire un ensemble de constituants (de nombre m) à partir d'un autre ensemble de constituants (de nombre n) tel que $m \neq 1$ et $m < n$.

Trier : classer un constituant en fonction d'une ou plusieurs de ses caractéristiques.

Retourner : changer l'orientation d'un constituant pour une autre.

Localiser : définir la position d'un constituant, c'est à dire définir les coordonnées X, Y, Z (place) et Ψ , θ , φ (orientation).

Guider : conserver, à la position d'un constituant, certaines de ses composantes fixes pendant que d'autres varient.

Déplacer : changer la position d'un constituant pour une autre.

Charger : mouvoir un constituant dans un outillage.

Décharger : mouvoir un constituant hors d'un outillage.

Relâcher : supprimer le maintien, suspendre ou libérer un constituant d'un outillage.

Saisir : établir un maintien, prendre ou attraper un constituant par un outillage.

Reconnaître : identifier un constituant, (attribuer un nom à un constituant).

Après avoir recensé les différentes fonctions d'un dispositif d'alimentation, la prochaine étape consiste à représenter ces fonctions dans un réseau de Petri adéquat. Ce dernier permet de décrire l'état des pièces (ou des constituants) avant et après l'exécution de chaque fonction.

Le paragraphe suivant présentera en détail les éléments du modèle fonctionnel en se basant sur les réseaux de Petri.

III. MODELISATION FONCTIONNELLE DES SYSTEMES D'ALIMENTATION PAR RESEAUX DE PETRI (RDP)

En général un RDP est un modèle défini par :

➤ Un ensemble de places, notées graphiquement par des cercles ;

➤ Un ensemble de transitions, notées graphiquement par des barres ou des rectangles ;

➤ Un ensemble d'arcs, notés par des flèches qui joignent les places aux transitions et les transitions aux places.

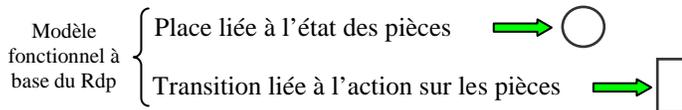
Pour modéliser un système d'alimentation on procède de la manière suivante :

→ Les places du réseau sont liées à l'état des pièces avant et après exécution d'une ou de plusieurs fonctions d'alimentation.

→ Les transitions sont liées aux actions (ou fonctions) réalisées sur les pièces.

→ Les arcs sont liés à l'évolution du processus, c'est-à-dire, au passage d'un état à un autre, selon l'action appliquée.

Si on résume, le schéma ci-dessous donne les éléments graphiques de base du modèle fonctionnel.



Dans ce qui suit, nous présentons le rôle que devra jouer chaque élément du réseau de Petri, c'est-à-dire donner les informations nécessaires concernant les places et les transitions dans la démarche de modélisation.

III.1 Présentation détaillée des éléments du réseau de Petri

III.1.1 Les places

Elles décrivent l'état des pièces dans un système d'alimentation avant et après l'exécution des fonctions citées précédemment.

On peut distinguer deux types d'informations pour décrire l'état des pièces. Les informations intrinsèques et les informations extrinsèques.

Les informations intrinsèques à la pièce ou au constituant : ils sont décrites de la façon suivante :

- Nom : désigne le nom du constituant.
- Sélection : désigne si le constituant est sélectionné ou pas.
- Attribut : désigne les caractéristiques du constituant (petit, grand, ...) afin de faciliter le trie.
- Taille du lot : représente le nombre de constituants dans un lot.
- Nature d'attachement entre les pièces : désigne le type de lien entre les pièces (disjoints, isolés,...).

Les informations extrinsèques à la pièce ou au constituant : ceux sont des données externes qui influent sur l'état de la pièce ou du constituant. Ces informations concernent :

- La localisation: désigne la position d'un ou de plusieurs constituants.
- L'isostatisme: désigne le type dont lequel le constituant est indexé (appui plan, linéaire, ponctuel...).
- Le posage: désigne si le constituant est dans un posage.

- La préhension: désigne si le constituant est pris par un préhenseur.

Nous avons mis au point des symboles pour décrire chaque fonction citée dans les paragraphes précédents. Dans notre cas, nous avons associé à chaque fonction un symbole adéquat. Ces derniers sont présentés ci-dessous.

- 1) Orienter :
- 2) Placer :
- 3) Positionner :
- 4) Indexer :
- 5) Localiser :
- 6) Isoler :
- 7) Démêler :
- 8) Séparer :
- 9) Dégroupier :
- 10) Guider :
- 11) Déplacer :
- 12) Retourner :
- 13) Trier :
- 14) Relâcher :
- 15) Saisir :
- 16) Charger / Décharger :
- 17) Reconnaître :

Après avoir donné tous les éléments du réseau de Petri pour modéliser le comportement d'un système d'alimentation. Nous allons présenter un schéma global du modèle fonctionnel et ensuite donner un exemple afin de valider le modèle proposé.

III.2 Elaboration du modèle fonctionnel

Le modèle général qui traduit l'exécution des fonctions d'alimentation est donné par la figure 2.

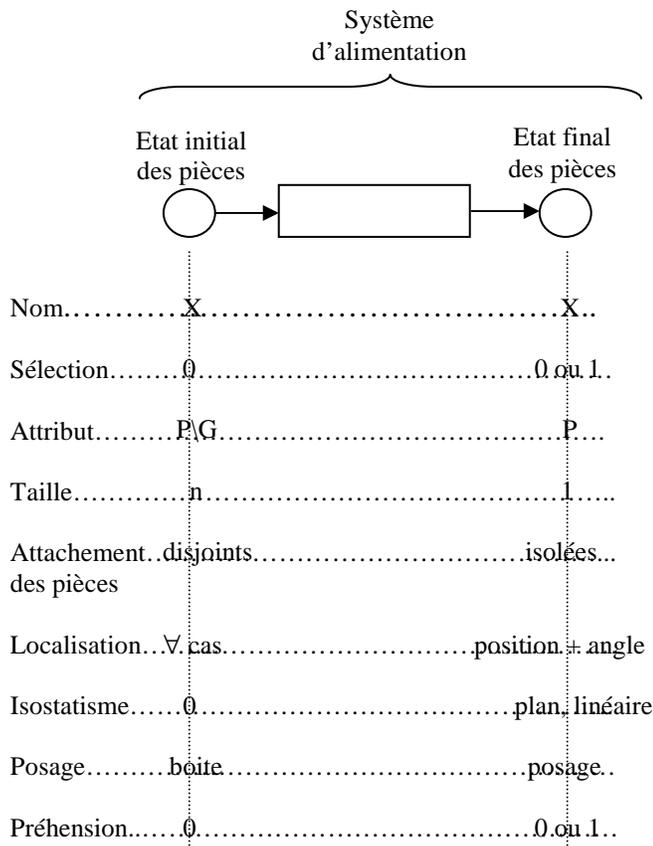


Fig. 2. Modèle fonctionnel général d'un système d'alimentation.

La figure 2 est une représentation globale du comportement d'un système d'alimentation. Pour établir une représentation fonctionnelle détaillée, on doit recenser en premier lieu les différentes fonctions que doit réaliser le système. La deuxième étape consiste à associer à chaque fonction une transition du réseau de Petri. Les places vont traduire, dans ce cas, le comportement des pièces en amont et en aval de chaque fonction.

La figure 2 présente, en plus, les informations suivantes :

- Nom : X, le nom de la pièce.
- Sélection : 0 ou 1, la pièce est sélectionnée ou pas.
- Attribut : caractéristiques de la pièce, Petite (P) ou Grande (G) par exemple.
- Taille (taille du lot) : (n, $m < n$ ou 1) nombre de pièces présentes.
- Nature d'attachement entre les pièces : disjoint, attaché ou imbriqué.
- Localisation : la position et l'angle de la pièce dans un endroit donné.
- Isostatisme : le type de pérennisation de la pièce, il peut être : plan, linéaire ou ponctuel.
- Posage : indique l'emplacement de la pièce dans un outillage.
- Préhension : 0 ou 1, indique si la pièce est prise par une pince ou un préhenseur, ou pas.

Ces éléments sont associés à chaque place dans le réseau et ceci pour donner les informations nécessaires sur l'état du constituant.

Dans notre cas, la première place correspond à l'état initial des constituants (ex : pièces en vrac), tandis que la dernière place du réseau correspond à l'état final d'un constituant (figure 2) (constituant présenté dans de bonnes conditions à une station de travail), et entre les deux se modélise un système d'alimentation sous forme de places et de transitions.

La modélisation fonctionnelle consiste d'une part à associer à chaque transition une fonction particulière. D'autre part, elle permet de représenter l'état du système en répondant aux questions concernant le nom, les attributs, la localisation... des constituants mis en jeu.

Le modèle fonctionnel que nous proposons semble être un outil performant pour identifier, de la meilleure façon, le comportement d'un système de production en général, et ainsi définir une politique de maintenance adéquate.

IV. EXEMPLE DE MODELISATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION PAR RDP

Nous présentons dans cette section un exemple de modélisation de systèmes d'alimentation le plus répandu en industrie, c'est le bol vibrant.

Un bol vibrant est un dispositif qui transforme des vibrations électromagnétiques en vibrations mécaniques et qui utilise celles-ci pour le transport de pièces [2], (figure 3).

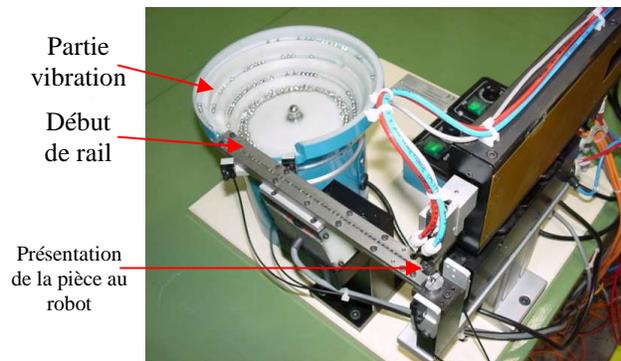


Fig. 3. Un bol vibrant.

Un bol vibrant est un système d'alimentation placé en amont d'un robot manipulateur. L'objectif du bol vibrant est de présenter une seule pièce au robot dans une position et une orientation correctes.

Le bol vibrant va exercer un certain nombre de fonctions sur l'ensemble des pièces. Au départ, ces pièces sont en vrac, ensuite elles subissent des changements jusqu'à leur arrivée à la station de travail une par une. Ces changements sont effectués par les fonctions suivantes :

Déplacer, guider, isoler, indexer et trier.

Pour faciliter la modélisation fonctionnelle du bol vibrant, nous avons numéroté les fonctions précédentes de la manière suivante :

- 11 : Déplacer
- 07 : Isoler
- 10 : Guider
- 05 : Indexer
- 14 : Trier

A partir de ces informations, le modèle de fonctionnement du bol est représenté sous la forme suivante :

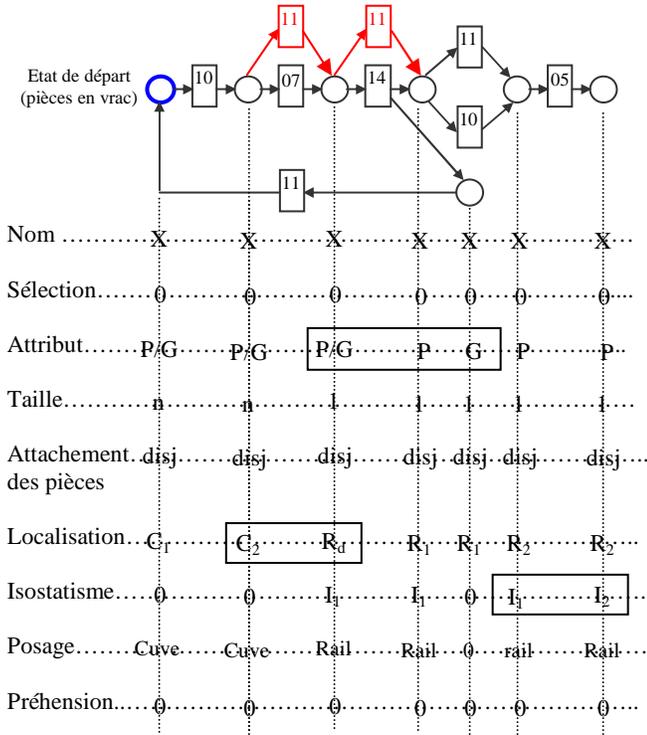


Fig. 4. Modélisation fonctionnelle du bol vibrant.

Pour comprendre le déroulement du modèle décrit ci-dessus, nous donnons quelques informations supplémentaires.

- X : désigne le nom de la pièce.
- P/G : désigne le type de pièces en cours de traitement, par exemple pièces Petites/Grandes.
- n : désigne le nombre de pièces.
- disj : désigne le lien entre les pièces, par exemple les pièces sont disjointes.
- C₁ et C₂ : désignent l'emplacement des pièces dans un posage. Dans ce cas, C₁ et C₂ représentent des cuves placées dans deux endroits différents.
- R_d : désigne le début du rail.
- R₁ et R₂ : désignent deux endroits différents du rail.
- I₁ et I₂ : désignent l'endroit de l'indexation.

Le figure 4 montre l'exécution des fonctions d'alimentation pour des pièces en vrac. Chaque place du model désigne l'état de ces pièces avant et après chaque fonction. La dernière place

donne l'état de la pièce qui devrait être présentée au manipulateur.

Le modèle proposé permet donc de donner les informations nécessaires pour étudier le comportement d'un système de production et ainsi faciliter l'opération de maintenance.

Dans la suite de ce paragraphe, nous présentons une vue générale de notre politique de maintenance et ceci en utilisant le modèle fonctionnel précédent.

V. DESCRIPTION DE LA STRATEGIE DE MAINTENANCE

La maintenance joue un rôle primordial pour augmenter les performances d'un système de production en terme de qualité et des délais de livraison des produits. A cet effet, il est nécessaire de réfléchir à une stratégie de maintenance fiable et moins coûteuse [7].

Notre objectif consiste donc à faciliter l'opération de maintenance en utilisant le réseau de Petri fonctionnel.

V.1 Présentation de la problématique

Le réseau fonctionnel contient deux entités essentielles qui sont les places et les transitions. On s'intéresse dans notre cas, aux transitions, car c'est à ce niveau que s'exercent un certain nombre d'opérations.

L'exécution d'une opération particulière nécessite l'utilisation d'un équipement approprié. Dans une telle situation, une opération de maintenance est utile dans le cas où une panne ou un dysfonctionnement se produit.

Au niveau du réseau de Petri, il s'agit d'apporter des modifications au niveau des transitions pour montrer qu'un équipement subit une opération de maintenance.

Cette modification est traduite de la façon suivante : à partir du réseau fonctionnel, on associe à chaque fonction l'équipement (ou une partie de l'équipement) qui lui correspond dans la réalité. Ceci est montré ci-dessous.

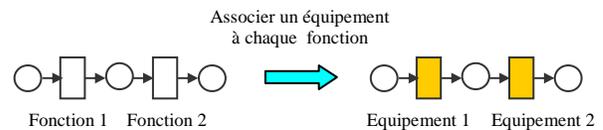


Fig. 5. Association d'un équipement à une fonction.

La deuxième phase consiste à mentionner l'endroit de la panne au niveau de l'équipement concerné et la possibilité d'effectuer une tâche de maintenance. Si on prend l'exemple suivant : si Equipement 1 = panne alors Equipement 1 = maintenance. Dans ce cas, l'opération de maintenance sera présentée dans le réseau de Petri de la façon suivante :

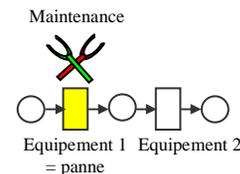


Fig. 6. Représenter une opération de maintenance.

D'autres informations seront indispensables pour rendre le réseau fonctionnel plus réaliste. Dans le cas d'une maintenance, si une ligne de production qui se situe en aval se bloque, une autre donnée est ajoutée au réseau afin de distinguer les équipements qui sont à l'arrêt et ceux qui sont en état de marche (voir la figure ci-dessous).

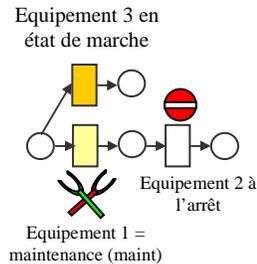
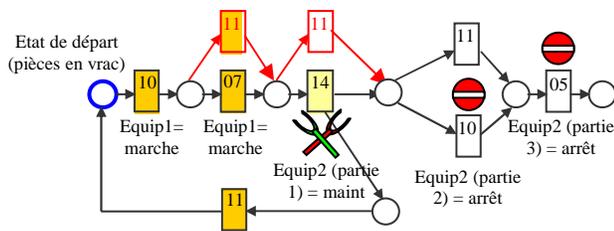


Fig. 7. Enrichissement du réseau fonctionnel.

V.II Exemple récapitulatif

Dans le cas du bol vibrant, si une panne se produit au début du rail, le bol se bloque automatiquement. Le bol va subir par conséquent une opération de maintenance. Le réseau de Petri fonctionnel associé est donné par la figure 8.



Equip1 : la partie vibrante du bol

Equip2 : le rail (partie 1 : début du rail, partie 2 : milieu du rail, partie 3 : fin du rail).

Fig. 8. Réseau fonctionnel d'un bol vibrant en phase de maintenance.

Le schéma ci-dessus montre que la partie « vibration » du bol tourne, tandis que le rail reste bloqué. Ce qui justifie que ce dernier restera à l'arrêt jusqu'à ce que la maintenance sera achevée.

L'approche proposée présente l'avantage de pouvoir mentionner l'endroit où doit s'effectuer l'opération de maintenance et de donner les équipements qui sont à l'arrêt et ceux qui sont en marche.

Cette modélisation semble un outil facilement manipulable et clair pour permettre une intervention rapide et performante.

VI. RESULTAT

Dans notre article, nous avons présenté un modèle fonctionnel basé sur les réseaux de Petri, sous forme d'un formalisme unifié. Cette formalisation est satisfaisante pour la modélisation et la conservation de la dynamique des systèmes.

Ceci nous a permis de bien comprendre le déroulement et le fonctionnement d'un système de production en général et d'un système d'alimentation en particulier.

VII. CONCLUSION

Nous avons mis au point un modèle fonctionnel pour un système de production afin d'expliquer le déroulement de ses opérations et faciliter ainsi l'opération de maintenance. L'approche que nous venons de proposer est aisée d'utilisation, elle présente l'avantage d'une modélisation cohérente et spécifique à une application donnée, et permet de satisfaire un maximum de besoins d'un atelier flexible.

La suite de ce travail consiste à améliorer le modèle fonctionnel, destiné à définir la stratégie de maintenance, pour le rendre plus précis et plus approprié.

REFERENCES

- [1] M. Adamou. "Contribution à la modélisation en vue de la conduite des systèmes flexibles d'assemblage à l'aide des réseaux de Petri orientés objet", Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, 1997.
- [2] J. Berger and M. Orriols, "Automatisation flexible des opérations d'Assemblage – Montage, produits de petites dimension", rapport CETIM Besançon, 1990
- [3] F. Dicesare, G. Harhakabis, J-M. Proth, M. Silva et F.B. Vernadat, "Practice of Petri Nets in Manufacturing", livre Chapman & Hall, London, 1993.
- [4] D. Gourc, C. Pourcel et T. Jia, "Analyse et conception orientée objet des systèmes de production, la productivité dans un monde sans frontières", Congrès International de Génie Industriel de Montréal, Québec, p.1809-1818, 1995.
- [5] B. Kramer, "SEGRAS - A Formal and Semigraphical Language Combining Petri Nets and Abstract Data Types for the Specification of Distributed System", 9th International Conference on Software Engineering, Washington, 116-25, 1987.
- [6] T. Zhang, K. Goldberg, G. Smith, R-P. Berretty et M. Overmars, "Pin Design for Part Feeding", Robotica Journal, 695 - 702, septembre 2001.
- [7] D. Racoceanu, N. Zerhouni, N. Addouche, "Modular Modeling and Analysis of a Distributed Production System with Distant Specialised Maintenance", IEEE ICRA, Washington, USA, mai 2002.