



HAL
open science

Modélisation modulaire des activités de maintenance dans une structure Multi-sites

Ahmad Alali Alhouaij, Zineb Simeu-Abazi

► **To cite this version:**

Ahmad Alali Alhouaij, Zineb Simeu-Abazi. Modélisation modulaire des activités de maintenance dans une structure Multi-sites. MOSIM Modélisation, Optimisation et Simulation des Systèmes, Mar 2008, PARIS, France. pp.221-228. hal-00381161

HAL Id: hal-00381161

<https://hal.science/hal-00381161>

Submitted on 5 May 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MODELISATION MODULAIRE DES ACTIVITES DE MAINTENANCE DANS UNE STRUCTURE MULTI-SITES

Ahmad ALALI ALHOUIJ, Zineb SIMEU-ABAZI

Laboratoire G-SCOP
46 avenue Félix Viallet
38031 Grenoble cedex 1

Ahmad.ALALI-ALHOUIJ@g-scop.inpg.fr, zineb.simeu-abazi@g-scop.inpg.fr

RÉSUMÉ : Cet article concerne la modélisation des activités de maintenance dans un contexte distribué. On s'intéresse plus particulièrement au cas où l'on dispose d'un atelier de maintenance central (AdMc) dans lequel les réparations sont réalisées et d'un atelier de maintenance mobile (AdMm) qui peut intervenir pour faire des remplacements sur plusieurs sites suivant un ordonnancement prédéfini. Il s'agit alors de dimensionner les ressources; (pièces de rechange dans les AdM et les opérateurs de maintenance). Une démarche de modélisation modulaire d'une structure multi-sites est proposée. Le but est d'améliorer la disponibilité des sites de production tout en minimisant le coût de la maintenance.

MOTS-CLÉS : maintenance distribuée, modélisation, Réseaux de Petri Stochastiques (RdPS), disponibilité, coût, ordonnancement.

1. INTRODUCTION

Dans les secteurs d'activité où la disponibilité des équipements est primordiale, la notion d'Atelier de Maintenance s'est développée. Un atelier de maintenance (AdM) prend en charge non seulement, la réparation des équipements mais aussi les actions préventives d'inspection et de remplacement. Dans un contexte distribué, cet atelier (AdM) peut être utilisé pour assurer la maintenance des équipements venant de différents sites de production. Afin de réduire l'occurrence des défaillances, l'AdM doit gérer les ressources (opérateurs, outillage et pièces de rechange), assurer le suivi en temps réel de l'état des équipements dans les différents sites et planifier les actions préventives. Pour améliorer la disponibilité des équipements de production et minimiser les coûts de maintenance il est donc nécessaire de bien dimensionner les ressources et bien planifier les actions préventives. Le dimensionnement des ressources concerne aussi bien la gestion des opérateurs de maintenance que l'outillage et pièces de rechange. Quant aux actions préventives, il s'agit de définir un échéancier robuste, capable d'absorber les aléas de fonctionnement et garder un bon niveau de sécurité.

Dans ce contexte distribué, les activités de maintenance se retrouvent réparties entre les deux structures suivantes:

- l'AdM central qui réalise le processus de réparation – maintenance corrective;
- l'AdM mobile qui effectue des inspections et remplacement sur les différents sites de production.

La figure 1 représente le contexte de l'étude et met en évidence les relations entre les différents sites [Semeu-abazi, 2007].

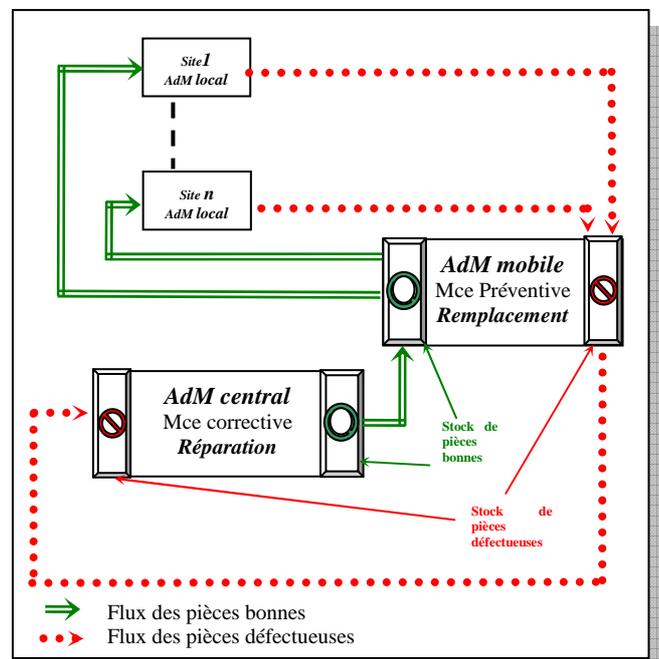


Figure 1. Relations entre les différents sites de production et les ateliers de maintenance

De ce fait, ce contexte distribué nécessite le développement de nouvelles techniques de modélisation et d'ordonnancement des tâches de maintenance. La simulation des modèles permet de prendre en compte les interac-

tions entre les différents sites et de dimensionner les ressources. Des travaux de recherche plus orientés dans le domaine du naval, ont porté sur l'optimisation de la disponibilité des navires marchands en proposant un dimensionnement des pièces de rechange avec un coût d'investissement limité (Rustenburg, 2000), (Lau *et al.*, 2006), (Keizers *et al.*, 2001). D'autres concernent le dimensionnement de pièces de rechange dans le domaine spatial (Caggiano et Muckstadt, 2000).

Une démarche méthodologique sur l'application de la maintenance centralisée aux systèmes de production a été élaborée récemment. Elle concerne plus particulièrement la conception d'un atelier de maintenance intégré dans un système de production (Abbou, 2003), (Abbou *et al.*, 2004). L'AdM est alors intégré et dédié à la maintenance de certains équipements dont la réparation englobe plusieurs phases (diagnostic, désassemblage, réparation proprement dite selon le type de défaillance, assemblage et test).

Cet article s'intéresse plus particulièrement au cas où l'on dispose d'un AdM central et d'un AdM mobile qui peut intervenir pour faire des remplacements sur plusieurs sites suivant un ordonnancement prédéfini. Il s'agit alors de dimensionner les ressources; (pièces de rechange dans les AdM fixes ou mobile et les opérateurs de maintenance). Une démarche de modélisation modulaire d'une structure multi-sites est proposée. Le but est de minimiser le coût moyen par l'application d'une politique d'inspection adéquate de l'atelier mobile.

Après une présentation succincte du cadre de travail, l'outil de modélisation choisi (les réseaux de Petri) est présenté. A travers un cas d'étude, une modélisation des ateliers de maintenance (centrale et mobile) est proposée avec quelques résultats de simulation. Des perspectives sur les orientations de ces travaux termineront cet article.

2. Outil de modélisation

Les réseaux de Petri constituent un outil très bien adaptée à la modélisation et l'analyse de systèmes complexes présentant de la concurrence et de la synchronisation. Ils ont été introduits par Carl Adam Petri en 1962 afin de décrire le comportement global des systèmes complexes et effectuer des analyses qualitatives.

Un RdP est composé:

- d'un ensemble de places représentant les états divers du système (représentées par des cercles).
- d'un ensemble de transitions expliquent la possibilité du changement d'état du système (représentées par des rectangles).
- d'un ensemble d'arcs orientés lient entre les places et les transitions.
- des marques (ou des jetons) représentés par des points noirs dans les places constituant le réseau.

Cet outil a fort pouvoir descriptif à représenter et à analyser le comportement de systèmes complexes, y compris les phénomènes de synchronisation, parallélisme, concurrence ou encore le partage des ressources.

Plus tard, en 1978, les réseaux de Petri stochastiques (RdPS) ont été introduits [Natkin, 80] et [Molloy, 81]. Ils permettent de calculer des probabilités et les statistiques ainsi que la prise en compte des événements aléatoires comme l'occurrence de défaillances.

La prise en compte de transitions immédiates (instables) et des transitions stochastiques (stables ou temporisées), a permis de définir une extension des RdPS appelé RdPS Généralisés (RdPSG).

Plusieurs modules de RdP, peuvent être synchronisés par des événements extérieurs. Cette dépendance est réalisée grâce à des liens entre les différents modules, qui conditionnent le franchissement d'une transition. C'est la notion des RdP Synchronisés (RdPSy) [Moalla, 78]. Dans cet article nous avons étendu la notion d'événements de synchronisation à des événements venant aussi bien de l'extérieur que de l'intérieur du système. C'est dans ce cas les RdPSy Internes (RdPSyI).

3. Application au contexte distribué

L'objectif est de proposer une démarche de modélisation et d'évaluation des performances d'un ensemble de sites de production en tenant compte des interactions entre les sites. Les performances attendues concernent l'amélioration de la disponibilité des sites de production, la minimisation du nombre de défaillances et des coûts de maintenance.

La prise en compte des actions correctives est faite grâce à l'utilisation RdP Stochastiques. Ils permettent de modéliser des systèmes soumis à des paramètres aléatoires tels que les pannes ou les réparations. Pour prendre en compte des actions préventives, les RdPS généralisés (RdPSG) sont utilisés. En effet, il est nécessaire de prendre en compte des transitions immédiates (instables) où le temps du séjour est considéré comme nul, et des transitions stochastiques (stables ou temporisées). Lorsqu'un marquage valide à la fois des transitions immédiates et de transitions temporisées, la priorité est donnée aux franchissements des transitions immédiates. Les échanges entre les différents sites (production et maintenance) sont réalisés grâce à des signaux de synchronisation. Nous utilisons pour cela les RdPSG à Synchronisation Internes où les différents modules sont synchronisés par des événements externes ou internes.

L'outil RdPSyI est bien adapté au contexte distribué. La décomposition du système complet en différents modules, permet une analyse modulaire de notre système. C'est ainsi que nous proposons une représentation et une analyse hiérarchique du système décomposé de la façon suivante :

1. Un modèle générique représentant les sites production SdPi
2. Un modèle générique représentant l'atelier de maintenance central (AdMc).
3. Un modèle générique du stock de l'atelier mobile (AdMm)
4. Un modèle représentant l'atelier de maintenance mobile avec le routage associé (AdMm).

Le tableau 1 regroupe les différentes données utilisées dans les modèles proposées ainsi que les objectifs attendus.

Type de système	Données	Objectifs
AdM central	- Taux d'arrivée des pièces défectueuses. - Caractéristiques des postes.	- Temps moyens de séjour minimum. - Dimension des stocks
AdM mobile	- Capacité de stockage : (η) - Distances inter-sites : ($d_{i, i+1}$) - Durée de remplacement : (τ_p)	- Ordonnancement des tâches. - Dimensionnement des ressources opérateurs et outillage
SdP	- Références équipements - Distance de l'AdMc: (d_{0i})	Durée de remplacement.

Tableau 1 – Récapitulatif des données et objectifs pour chaque type d'atelier

4. Principe de la modélisation modulaire

La décomposition du système en plusieurs modules permet à la fois une meilleure lisibilité et une simplicité dans la phase d'analyse. On s'appuie sur le RdPSGSyI pour modéliser directement le système à partir des différents modules qui le compose selon les étapes suivantes : [SASSINE Ch., 1998]

- 1- Faire une division structurelle du système : un système de n sites de production peut être décomposé à n cellules.
- 2- Un modèle générique est associé à chaque cellule en utilisant RdPSGSyI,
- 3- A chaque cellule, des signaux de synchronisation sont générés : les places lorsqu'elles sont actives envoient des signaux qui conditionnent les transitions qui les reçoivent.

5. Les hypothèses

On s'intéresse à l'application de la maintenance centralisée à un système de production multi-sites comprend un AdM central, plusieurs sites de production et un AdM mobile. Pour évaluer les performances de ce système complexe, nous avons pris certaines hypothèses.

5.1. Hypothèses sur les sites de production

- 1) Tous les SdP sont identiques, utilisent un équipement de caractéristiques identiques.
- 2) Aucune ressource n'est partagée entre la production et les sites de maintenance.
- 3) La défaillance de l'équipement entraîne l'arrêt de production du site.
- 4) La MP est effectuée à la date d'occurrence prédéfinie d'une MP si le SdP est à l'état de repos.

5.2. Au niveau de l'AdM Central

- 1) La réparation d'un équipement défaillant est caractérisée par le temps moyen de réparation μ .
- 2) Dans l'AdM central, il y a toujours un stock suffisant de pièces réparées prêtes à être chargées.

5.3. Au niveau de l'AdM Mobile

- 1) A chaque site, il ne fait qu'un remplacement standard d'un seul type de pièce.
- 2) Lorsque le nombre de pièces en stock est supérieur au niveau du stock sécurité, l'AdM Mobile continue son fonctionnement suivant la planification prédéfinie.
- 3) Lorsque le nombre de pièces en stock est inférieur ou égale au niveau du stock sécurité, l'AdM Mobile suit un des scénarios prédéfini.
- 4) Le temps de séjour dans le site est caractérisé par le temps moyen de remplacement.

6. Les modèles génériques

Le système multi-sites est constitué des différents modèles génériques basés sur les RdPSGSyI.

- Les sites production SdPi : c'est un modèle qui doit tenir compte du fonctionnement interne du site i mais aussi des tâches de maintenance.
- L'atelier de maintenance central (AdMc) : c'est un modèle qui doit prendre en compte du processus complet de réparation ainsi que du taux d'arrivée des pièces défectueuses.
- L'atelier mobile (AdMm) : c'est un modèle qui doit tenir compte de la capacité de stockage de l'AdMm.
- Les politiques de maintenance : c'est un modèle qui doit tenir compte des tâches de maintenance correctives ou préventives
- Le routage : c'est un modèle qui représente la planification des tâches de maintenance de l'AdMm suivant des scénarii bien définis.

6.1. Le modèle des sites de productions

C'est un modèle qui représente les différents modes de fonctionnement du site de production SdP. Il est synchronisé par les événements programmés de maintenance préventive (occurrence d'une maintenance préventive et présence de l'AdMm sur le site) . Le RdPSGSyI de ce modèle (voir figure ??), génère l'ensemble des signaux qui indiquent l'état du site : en production, en état de panne et en arrêt pour maintenance préventive.

La place P1 représente l'état du repos où le SdP est prêt à commencer un de ses modes de fonctionnement. Si aucune MP n'est programmée, l'opération de production peut être lancée (franchissement de T1) avec l'envoi par

nombre de marques dans la place P1 qui représente la capacité maximale du stock de l'AdMm. La transition T2 est conditionnée par le début d'opération de Maintenance corrective ou préventive. Lorsque T2 est franchie, une pièce neuve est retirée du stock et une place est libérée pour recevoir une pièce défectueuse en envoyant le signal *!pls* à partir de la place P2.

Lorsque le remplacement est fini, suivant que la maintenance soit corrective ou préventive, les signaux *?fmc* ou *?fmp* valident la transition T1.

Le marquage de P1 représente le nombre de pièces en bon fonctionnement (n_b) le marquage de P2 représente le nombre de pièces défectueuses (n_d).

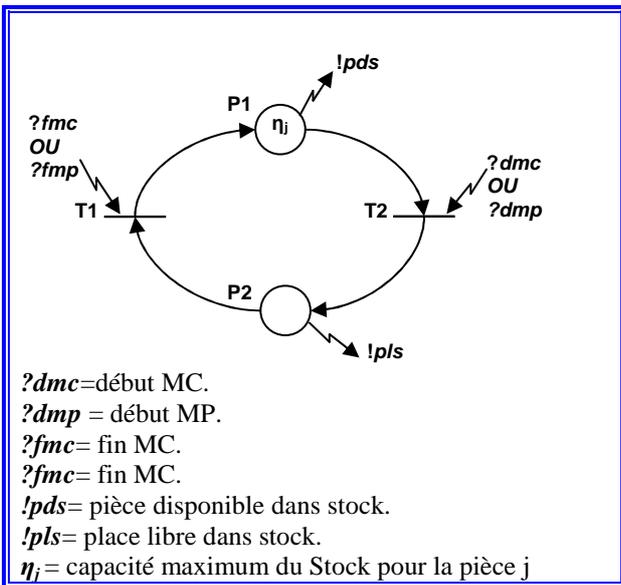


Figure 4. Module de Stock

Remarque 3 :

La non apparition du signal (*pds*, pièce disponible dans stock) traduit le fait que le stock est nul.

Remarque 4 :

Au départ $n_b = n_d$

6.4. Les Politiques de maintenance

Le modèle de RdP comprend deux parties, la politique de MC (AdM central), et la politique de MP (AdM mobile).

6.4.1 Modèle de Maintenance Corrective MC

C'est un modèle constitué de trois places et trois transitions comme le montre la figure 5. Il est synchronisé par l'occurrence aléatoire d'une défaillance émise par le modèle du site de production et par la disponibilité des ressources.

P1 représente l'état de repos de l'équipe de maintenance. La maintenance corrective ne démarre que si une panne a été signalée (*?pas*) et que l'AdMm est présent sur le site (*?asp*). Notons que le signal (*pas*) contient toutes les informations sur le type de panne et le SdP associé.

Pendant toute la durée de réparation un signal est émis par la place P2 signalant le début de la maintenance (*?dmc*). Après un temps moyen de réparation (τ_c) associé à la transition T2, un signal de fin de cette activité (*!fmc*, la fin de la MC) est émis.

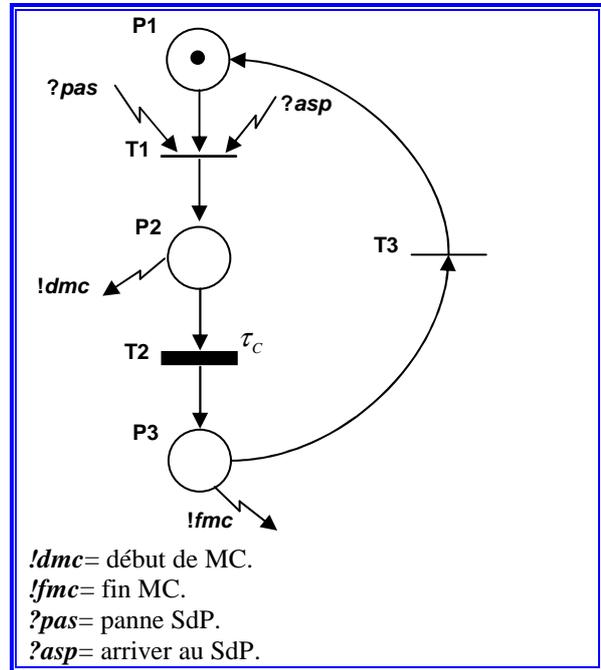


Figure 5. Module de la politique MC

6.4.2 Modèle de Maintenance Préventive MP

Comme pour le modèle de la maintenance corrective, le modèle constitué de trois places et trois transitions comme le montre la figure 6.

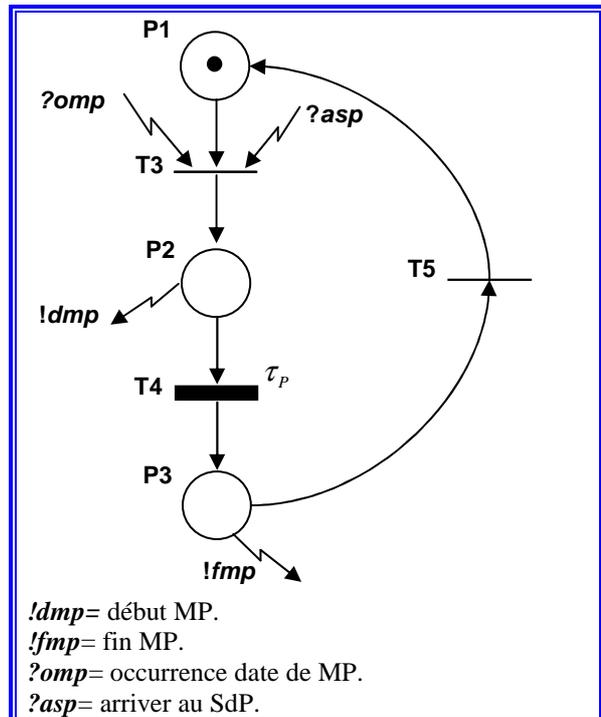


Figure 6. Module de la politique MP

Il est synchronisé par l'occurrence programmée des actions de maintenances préventives. La place P1 représente l'état de repos de l'équipe de maintenance. La maintenance préventive ne démarre qu'à la date d'occurrence d'une MP (?omp) selon une planification prédéfinie et si l'AdMm est présent sur le site (?asp). Lorsque T3 est franchie, l'opération de remplacement de l'équipement pré-défaillant par un neuf est lancée par l'envoi du signal (?dmp). Le temps moyen de remplacement (τ_p), est associé à la transition T4. Le signal de fin de cette procédure de remplacement (!fmp) indique que le SdP est remis en état de marche et la fonction de maintenance est disponible pour d'autres opérations de maintenance.

6.4.3 Modèle global de Maintenance

Pour régler le problème de conflit qui peut arriver à lors d'une l'occurrence d'une maintenance préventive nous proposons un module unique de maintenance qui regroupe les modèles MC et MP. Ainsi lorsque ce cas se produit, la priorité est donnée à la maintenance corrective. Par conséquent, le déplacement de l'AdMm vers le SdP défaillant a toujours la priorité.

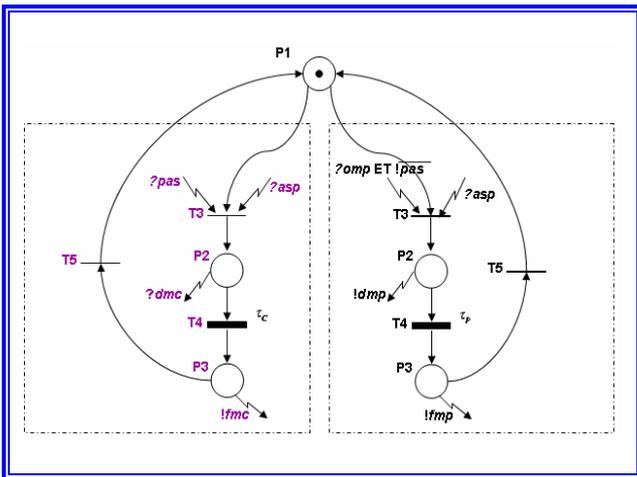


Figure 7. Module de la Maintenance

Remarque 5:

Dans ces modèles nous n'avons pas tenu compte de la condition de pièce disponible en stock car le déplacement de l'AdMm vers le site de production est déjà conditionné par la présence de pièces non défectueuses.

Remarque 6:

A chaque signal de début de maintenance (dmc ou dmp), une pièce dans le stock des pièces neuves est consommée, et à chaque signal de fin de maintenance (fmc, fmp) une pièce dans le stock des pièces défectueuses est rajoutée.

6.5. Modèle du routage de l'AdMm

C'est un modèle qui représente l'ordre des actions de maintenance (correctives ou préventive) à effectuer par l'atelier mobile. Il est synchronisé par les dates d'occurrence des MP, l'occurrence d'une panne et le

niveau du stock. Les paramètres pris en compte dans la phase d'évaluation sont :

- les distances inter-sites
- la capacité de stockage de l'AdMm

L'AdMm s'occupe de l'approvisionnement en pièces de rechange neuves (ou réparées) au niveau de l'AdMc mais aussi des différents déplacements vers les sites pour les opérations de remplacement. Ces activités sont définies par l'algorithme suivant (Figure 8.):

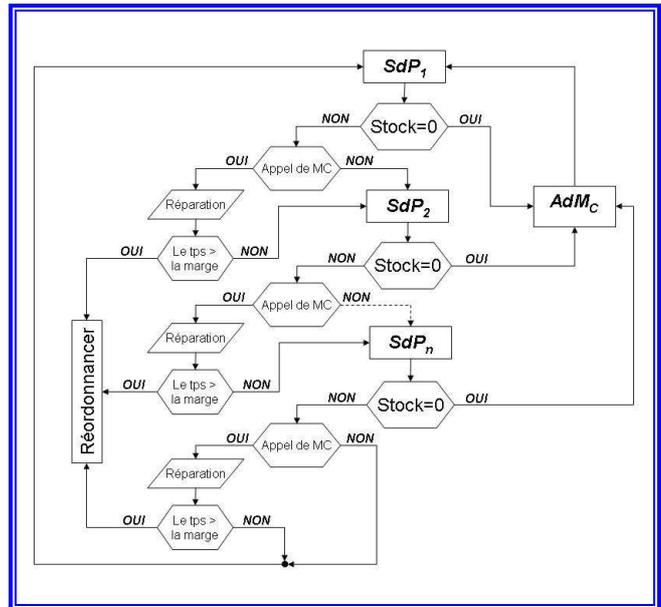


Figure 8. Organigramme du routage

Remarque 7 :

On considère ici qu'il y a toujours le nombre de pièces réparées au stock de sortie de l'AdMc, il est aussi suffisant pour répondre le besoin de l'AdMm (sa capacité maximum).

A partir de la figure 8. On peut mettre l'algorithme suivant :

Fonction routage « Centralisation de maintenance pour n sites de production »
Initialisation « l'AdMm est au site de l'AdMc »
n = fini ; « le nombre de sites de production »
déjàvisité = 0 ;
pasencorvisité = n ;
Répéter
 Pour le temps de chargement
 Attendre la fin de chargement des pièces neuves
 l'AdMm s'approvisionne son stock pour un nouveau cycle
 Fin pour
 i=0 ; « début du cycle de l'AdMm »
 Tant que pasencorvisité < > ensemble vide
 Si η > = Ss « Stocke de sécurité »
 Faire
 Déplacement ; vers SdP_i
 Attendre l'horloge de taux de déplacement
 correspond à la distance entre SdP_i et SdP_{i-1}
 Fin déplacement, l'AdMm est arrivé au SdP_i
 Remplacement ;
 Attendre l'horloge taux de remplacement
 Fin de remplacement

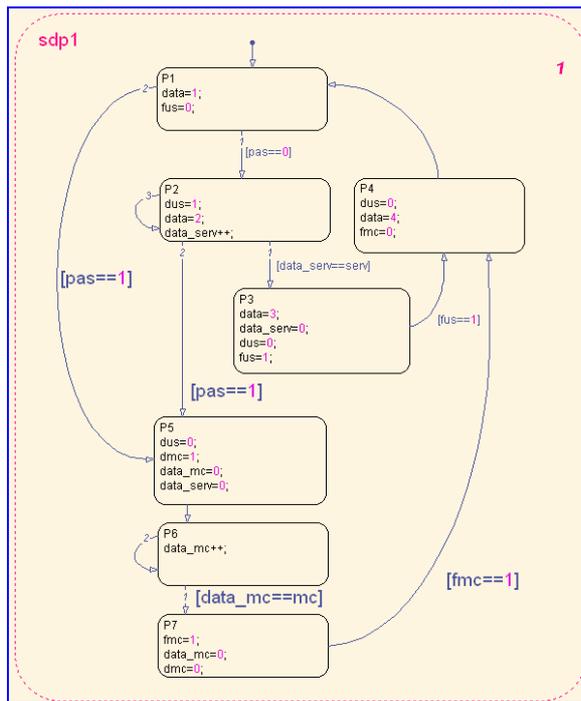


Figure 10. Modèle Simulation des modes de fonctionnement d'un SdP

Pour représenter le comportement du site ainsi que les différents modes de fonctionnement, il est nécessaire de construire certaines fonctions qui génèrent des événements aléatoires comme l'occurrence d'une panne. L'occurrence d'une défaillance entraîne l'arrêt du site en attente de réparation. De plus, la durée de réparation dépend de la panne (on la prendra comme aléatoire), un temps aléatoire est associé à durée de réparation. La figure 10, montre le modèle Stateflow du générateur d'événements aléatoires et la figure 11 le modèle d'un site de production. La simulation par Stateflow permet de calculer le coût global de maintenance et contribue au dimensionnement de la capacité de stockage de l'atelier mobile.

Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé une démarche de modélisation pour un système de production multi sites. Le modèle de ce système a été construit sous certaines hypothèses afin de simplifier le nombre de contraintes à prendre en compte. Le modèle basé sur les RdPSGSyI permet de mieux appréhender le processus de maintenance distribuée, qui est le thème principal de cette étude. La simulation des différents ateliers synchronisés (en cours de réalisation) permet d'analyser et d'évaluer les performances de maintenance (taux de défaillances, disponibilité, coût, taux de rendement synthétique...).

Ce travail s'ouvre à plusieurs perspectives. La première est de lever certaines des hypothèses dans la modélisation du système de maintenance distribuée. L'hypothèse 1 concerne les équipements des sites. Dans le modèle proposé un seul type d'équipement est pris en

compte au niveau de chaque site. Cette hypothèse restreint le champ d'action de la maintenance distribuée. Il est nécessaire de tenir compte de la diversité des équipements et l'AdM doit être capable de remettre en état différents types d'équipements. De plus, le remplacement d'un équipement peut engendrer des coûts importants, il est nécessaire alors d'envisager un remplacement multi niveau des équipements. En d'autres termes, il s'agit de prendre en compte le remplacement non pas de l'équipement en entier mais uniquement d'une partie de l'équipement.

REFERENCES

- Abbou R, 2003. *Contribution à la mise en œuvre d'une maintenance centralisée : conception et optimisation d'un atelier de maintenance*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, France.
- Abbou R., Z. Simeu-Abazi, M. Di Mascolo, 2004. *Atelier de maintenance intégré dans un système de production : conception et évaluation des performances*. Journal Européen des Systèmes Automatisés, Volume 38 n°1-2, pp. 197-223.
- ALALI ALHOUAIJ A. , SIMEU-ABAZI Z. , ALLA H, 2006. *Ordonnancement Robuste des Tâches de Maintenance Préventive*. MMR'06, Rabat, Maroc.
- Caggiano K. E., J. A.Muckstadt, 2000 *Maintenance Support for the Reusable Launch Vehicle Program: Determining and Evaluating Spare Stock Levels for Recoverable Parts*, Technical report n°1269, School of Operations research and industrial engineering, Cornell University, Ithaca, NY 14853.
- Keizers J., I. Adan, J. van der Wal, 2001. *A Queueing Model for Due Date Control in a Multi server Repair Shop*. Naval Research Logistics, Vol. 48, 2001, pp. 281-292.
- MOLLOY M.K., 1981. *On the integration of delay and throughput measures in processing models*. Thèse de doctorat, university of California, Los Angeles, USA.
- Naktin S., 1980. *Les réseaux de Petri Stochastiques*. Thèse de Doctorat, CNAM, Paris, France.
- Pham D.M, 2005. *Application de la maintenance centralisée pour les systèmes de production multi-sites*. Rapport de master Automatique-Productique, de l'INPG, Grenoble, France.
- Rustenburb J., 2000. *A system approach to budget-constrained spare parts management*, Thèse de doctorat, Eindhoven University of Technology, Pays Bas.
- SASSINE Ch., Simeu-abazi Z., 1998. *Intégration des politiques de maintenance dans les systèmes de production manufacturiers*. Thèse de Doctorat, INPG, Grenoble, France.
- Simeu-Abazi Z., 2007. *Maintenance centralisée pour les systèmes de production multi-sites*, RFGI, revue française de gestion industrielle, vol. n°26.