

Méthodologie de surveillance des systèmes à événements discrets

Sihem Kechida, Rachida Hadiby Ghoul
Laboratoire d'Automatique et Informatique de Guelma, LAIG
Université 8 Mai 45 de Guelma, BP 401. 24000, Guelma, Algérie.
Tel : (213) 37 20 02 65 Fax : (213) 37 21 58 53
sihem_kechida@yahoo.fr, kechidas@yahoo.fr, rhadiby@yahoo.fr,

Résumé- Ce travail traite le problème de diagnostic des pannes affectant les systèmes événementiels ou à événements discrets (SED). Notre étude se situe dans le contexte des systèmes qui admettent un modèle décrit par les réseaux de Petri. Elle présente une méthodologie à base de modèle dont la problématique de détection et de localisation de défaut (FDI : fault detection and isolation) étudie la surveillance des défaillances de type place et de type transition. Dans cette approche, deux étapes principales sont considérées : le développement du modèle et la construction du diagnostiqueur. Ce dernier est basé sur un principe de séparation stricte entre la fonction de surveillance et la commande. Il est alors conçu comme un modèle supplémentaire indépendant du modèle du processus qui permet de détecter et d'identifier les défaillances à partir des marquages observés périodiquement.

I. INTRODUCTION

La surveillance est une entité capable de présenter à l'opérateur des informations utiles afin qu'il prenne à temps, les bonnes décisions pour la conduite du processus. Trois fonctions sont indispensables pour gérer la conduite de systèmes soumis à des perturbations : la détection des situations anormales, leur diagnostic, le choix et l'application du traitement de défauts. Ces différentes étapes permettent de ramener le procédé dans un état compatible avec le fonctionnement désiré par l'utilisateur.

Les techniques de détection restent essentiellement basées sur la détermination des incohérences (en nature ou en temps) observées entre les signaux réels de sortie du système et ceux normalement attendus.

D'une manière générale, on désigne communément par *diagnostic*, l'ensemble des tâches conduisant à comparer le fonctionnement effectif avec ce qu'il devrait être sous certaines hypothèses de défaillances (ce qui suppose de disposer de modèles de dysfonctionnement). Ces tâches regroupent alors la circonscription de la défaillance à un sous ensemble du système surveillé et la détermination des fonctions initiatrices qui sont l'origine de la défaillance.

II. DESCRIPTION DES SED

Une grande variété des systèmes physiques peut être représentée par des modèles SED: les systèmes manufacturiers, les systèmes de transport, les systèmes de communication et

d'autres dont le comportement est basé sur l'occurrence d'événements asynchrones dans le temps.

Les modèles SED sont différents suivant les communautés de l'automatique et de l'intelligence artificielle qui y sont intéressés. Dans la première, les problèmes de commande ont été primordiaux et les représentations telle que les réseaux de Pétri et les machines à états finis ont été développés. De telles représentations sont devenues les outils les plus adoptés, mais ont toujours quelques inconvénients pour modéliser les processus.

Dans la communauté de l'Intelligence Artificielle, le paradigme de raisonnement à base de modèle s'est concentré plus sur les aspects de simulation de la modélisation des processus que sur les aspects de commande [1].

Un SED est caractérisé par son comportement dynamique qui se traduit par le changement d'état vers un autre état suite à l'occurrence d'un événement. Les événements peuvent être de deux types : l'événement de temps est un événement uniquement déterminé par rapport à la variable *temps* ; l'événement contrôlé dépend des conditions d'évolution du système et s'obtient par des règles, il définit soit un événement d'état ou un événement de commande.

L'instant d'occurrence de l'événement n'est pas a priori connu.

A Modélisation des SED par les réseaux de Pétri.

Le réseau de Pétri (RdP) est un outil de modélisation graphique et mathématique applicable à un grand nombre de systèmes où les notions d'événements et d'évolutions simultanées sont importantes dans l'étude de tels systèmes. De nombreux auteurs s'en servent pour décrire et analyser les systèmes avec des comportements asynchrones, distribués, parallèle, non déterministes, concurrents, avec conflits, etc. [2]. [3].

De part leur nature graphique, les réseaux de Pétri peuvent être utilisés comme une aide visuelle de communication semblable aux organigrammes, schémas fonctionnels, réseaux. En outre, les marques sont employées dans ces réseaux pour simuler l'évolution dynamique et concurrente des systèmes. De part leur description mathématique, il est possible d'établir des équations algébriques, et des modèles mathématiques régissant le comportement des systèmes [4].

Un RdP est défini par un ensemble fini de places, un ensemble fini de transitions et une fonction dite fonction de poids. Ceci présente la structure statique du système. L'état de celui-ci se modélise à l'aide d'un marquage que l'on fait évoluer en franchissant des transitions, ce qui correspond à exécuter les actions qui leur sont associées [5]. Formellement un RdP peut être représenté par le quadruplet :

$$R = (P, T, W, M_0). \quad (1)$$

$P = \{P_1, P_2, \dots\}$: ensemble fini non vide des places.

$T = \{T_1, T_2, \dots\}$: ensemble fini non vide des transitions .

$W : (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow \mathbb{N}$ est la fonction de poids et

$M : P \rightarrow \mathbb{N}$ est la fonction de marquages (jetons) du réseau.

Le marquage initial est donné par M_0 .

Le marquage $M(p) = k$ signifie que la place P contient k jetons (jetons)

Mathématiquement, l'évolution du marquage dans un RdP marqué est décrit par l'équation suivante :

$$M(k+1) = M(k) + B \cdot x(k). \quad (2)$$

Avec :

$B(P, T)$ la matrice d'incidence globale du réseau

x est le vecteur de franchissement.

III. CONCEPTS LIÉS À LA SURVEILLANCE

La problématique de surveillance des SED nécessite en général un modèle, l'observation de l'évolution du système, et la caractérisation du comportement des défaillances.

Les défaillances peuvent être caractérisés du point de vue du système physique ou du point de vue du modèle.

- ◆ Du point de vue de système physique, nous pouvons classer les défaillances selon le composant ou l'organe sur lequel elles apparaissent, les pannes peuvent provenir des composants matériels (capteur, actionneur, convoyeur, coupure d'un câble, problème d'alimentation...), des erreurs logicielles ou humaines, ou bien peuvent représenter des conditions anormales (erreur de connexion, etc.) [6].
- ◆ Du point de vue du modèle RdP, une défaillance correspond à un dysfonctionnement de type place (arrêt du processus, retard d'exécution de tâches, ...) ou de type transition (erreur de marquage des places avales, ou évolution erronée sur une séquence incorrecte suite à une panne de capteur, ou erreur de commande).

A Mode de défaillances

Une défaillance peut être définie comme un évènement non contrôlable influençant le fonctionnement d'un SED. La localisation repose sur la détermination des conditions d'occurrence de l'évènement produit. A cette classe d'évènements s'ajoute tous les phénomènes de perturbations

qui surgissent sur le système comme des évènements indésirables et dont le système de surveillance doit être insensible.

Dans la littérature, plusieurs classifications ont été proposées :

B.1 Transition franchie avec retard / en avance

Ces deux modes de défaillance traduisent le fait que, bien que l'état du processus permette (respectivement ne permette pas) une évolution de la commande, le changement d'état de cette dernière ne s'opérera qu'ultérieurement (respectivement s'opère intempestivement). Ce phénomène peut s'expliquer, par exemple, par l'obtention d'une image biaisée du processus induite par une dérive de capteur.

B.2 Transition devenue infranchissable

Ce mode de défaillance traduit le fait que l'état de la partie opérative (par exemple un défaut capteur) ne permet plus l'obtention de la véracité d'une condition ou l'occurrence d'un évènement.

B.3 Action erronée

Ce mode de défaillance est révélateur d'une non conformité de la commande à l'état de la partie commandée. Nous considérons deux types de défauts affectant la place:

- ◆ Si une activité est défaillante, c'est que l'une des conditions nécessaires à sa réalisation n'était pas bonne ou l'une des pré-conditions était fautive (Propagation des défaillances). Les conditions et pré-conditions concernent les éléments du procédé : produits, outils, moyens de production, moyens de transport. Ce type de défauts affecte l'exécution d'une transition. En termes d'évolution d'état dans l'équation (2.18), une défaillance sur la transition T_j correspond à une anomalie de son franchissement, c'est à dire à ses pré-conditions données par la $j^{\text{ème}}$ colonne de $B^- : B^-(:j)$ ou à ses post-conditions données par $B^+(:j)$ qui n'ont pas d'effets.
- ◆ Si une activité n'a pas encore été lancée/ n'a pas été acquittée car toutes ces pré-conditions / post-conditions ne sont pas vraies. Ce type de défaut altère le nombre de marques ou de jetons dans une seule place du RdP. Dans l'équation (2), une défaillance sur une place à l'instant k affecte la valeur d'une seule variable dans le vecteur d'état $q(k)$ qui devient incorrect. Il faut noter que les défauts sur les places sont mesurés en termes de nombre de places défectueuses, indépendamment du nombre de marques incorrectes dans chaque place défectueuse.

IV. SURVEILLANCE A BASE DE MODÈLE

Les dispositifs de surveillance sont le plus souvent proposés suivant deux techniques différentes :

Les modèles internes : systèmes basés sur un modèle formel du procédé commandé,

Les modèles externes : systèmes à apprentissage.

Les systèmes à apprentissage permettent à la fonction de surveillance de compléter sa base de connaissance au court du temps. L'inconvénient principal de ce type de méthode est le risque de perdre la cohérence de la base au fur et à mesure des ajouts. Les systèmes à base de modèle de référence comparent le fonctionnement effectif de l'élément suspecté et le fonctionnement normal du modèle. Dans ce cas, aucune connaissance des fonctionnements anormaux n'est nécessaire. Les modèles en filtre, les modèles en émulation et les modèles comportementaux peuvent être utilisés [7].

A Conception d'un Diagnostiqueur

La conception de la supervision repose sur l'application d'un modèle RdP représentant le système utilisé associée à un module RdP comportant des places supplémentaires dont le but est de surveiller les séquences de fonctionnement dynamique. Dans [8], les auteurs considèrent l'identification de défaut dans un RdP où la transition est inobservable mais pour lequel l'état (marquage) est observable tout le long du cycle (la séquence). Plus spécifiquement, à la fin d'une séquence l'état final (marquage) du RdP redondant (incorporant des places supplémentaires) est observé et, en se basant sur cette information, les défauts qui ont pu être produits pendant cette séquence sont détectés et identifiés.

Un diagnostiqueur ou un monitor est un modèle (RdP ou automate à états finis) construit à partir du modèle de système et doit satisfaire un cahier des charges. Il est employé pour :

- i) analyser la propriété de diagnosticabilité du système
- ii) analyser les modes fonctionnement du système
- iii) exécuter le diagnostic des défaillances en ligne à partir des observations issues du système.

Le monitor fournit donc une estimation de l'état du système après l'occurrence de chaque événement. En outre, l'état du diagnostiqueur comporte l'information nécessaire pour détecter les occurrences des défauts (sans aucun retard), (si le système est diagnosticable).

B Equations d'évolution

Si le RdP original (O) correspondant au SED contient n places, alors son évolution est donnée par celle du marquage associé à son RdP en utilisant l'équation de marquage (2), de même si le superviseur comporte s places ($s > 0$) [8], ses états sont liés par la relation linéaire suivante [9] [10]:

$$M_s(k) = Q.M(k). \quad (3)$$

où $M_s(k)$ est le vecteur de marquage du monitor de dimension s
 $M(k)$ est le vecteur de marquage du SED original de dimension n
 et Q est une matrice de dimension appropriée dans N .

De ce fait, on peut définir un nouveau vecteur de marquage de dimension $(s+n)$ pour le modèle global noté $M_h(k)$ est

$$M_h(k) = \begin{bmatrix} I_n \\ Q \end{bmatrix} M(k) = G.M(k). \quad (4)$$

où I_n est la matrice identité de dimension $n \times n$

L'équation d'évolution du RdP global (H) ainsi obtenue, déduite de l'équation (2), est :

$$\begin{aligned} M_h(k+1) &= M_h(k) + \beta^+ x(k) - \beta^- x(k) \\ &= M_h(k) + \begin{bmatrix} B^+ \\ B'^+ \end{bmatrix} x(k) - \begin{bmatrix} B^- \\ B'^- \end{bmatrix} x(k). \end{aligned} \quad (5)$$

et l'état initial $M_h(0) = G.M(0)$

Théorème 1: Un RdP H est un RdP redondant séparé du RdP O si et seulement si Q est une matrice constante positive et $B'^+ = Q.B^+ - D$, $B'^- = Q.B^- - D$ où D est une matrice d'entiers non négatifs de dimension $s \times n$ tel que $D \leq \min(Q.B^+, Q.B^-)$. [11].

Ce théorème présente une nouvelle expression de la matrice d'incidence en fonction de la matrice D. Avec ces deux matrices Q et D, il est possible de détecter et d'identifier les différentes défaillances.

C Générateur de résidus

La génération de résidus est propre à la méthode utilisée. Suite à cette étape, les résidus sont analysés pour décider s'il y a ou non présence de défauts, sur quel composant du système il est apparu (localisation) et dans certains cas, déterminer la nature du défaut et sa cause (identification).

Cependant l'apparition d'une défaillance se traduit par un comportement anormal du système exprimé par :

$$M_f(k) = M_s(k) + \varphi. \quad (6)$$

où φ est une défaillance de type place φ_p ou de type transition φ_T ou les deux à la fois.

La détection est réalisée par le test de cohérence qui permet de générer un vecteur indicateur de défauts appelé $r(k)$. Pour cela, on définit la matrice P comme suit :

$$P = [-Q \quad I_d]. \quad (7)$$

Le vecteur $r(k)$ généré est :

$$r(k) = P.M_h(k). \quad (8)$$

et il doit vérifier l'hypothèse suivante :

$$\begin{cases} r(k) = 0 & \varphi_T \neq 0 \text{ et } \varphi_P \neq 0 \\ r(k) \neq 0 & \text{Autrement} \end{cases} \quad (9)$$

Dans ce qui suit, on synthétise un générateur de résidus en se basant sur un choix de Q et D.

C.1 Cas d'une défaillance de type transition

Supposons qu'à l'instant (k-1), la transition T_j est franchissable. Si à cause d'une défaillance, les post-conditions de T_j ne sont pas exécutées, cela se répercutera sur l'état à l'instant k

$$\begin{aligned} M_f(k) &= M_h(k) - \beta^+(\cdot, j) \\ &= M_h(k) - \beta^+ x_j \end{aligned} \quad (10)$$

où $x(k-1) = x_j$

Le résidu sera donc

$$\begin{aligned} r(k) &= P.M_f(k) \\ &= D.x_j \equiv D(\cdot, j) \end{aligned} \quad (11)$$

Par opposition, si maintenant les pré-conditions de T_j ne sont pas exécutées, l'état du système est

$$\begin{aligned} M_f(k) &= M_h(k) - \beta^-(\cdot, j) \\ &= M_h(k) + \beta^- x_j \end{aligned} \quad (12)$$

et le générateur de résidu résultant sera

$$r(k) = -D.x_j \equiv -D(\cdot, j) \quad (13)$$

D'une manière générale, lorsqu'il s'agit des défauts sur les transitions, l'indicateur de défaut est exclusivement exprimé par une simple relation qui regroupe les équations (10 – 13) et aboutit à :

$$\begin{aligned} r_T &= P.(M_h(k) - \begin{bmatrix} B^+ \\ Q.B^+ - D \end{bmatrix} . \varphi_T^+ + \begin{bmatrix} B^- \\ Q.B^- - D \end{bmatrix} . \varphi_T^-) \\ &= D.\varphi_T \end{aligned} \quad (14)$$

Si nous choisissons toutes les colonnes de D distinctes, nous pourrions détecter et identifier tous les défauts sur les transitions. Selon le signe, nous pouvons également déterminer si les pré-conditions ou les post-conditions n'ont pas été exécutées.

C.2 Cas d'une défaillance de type place

On s'intéresse maintenant à la détection et la localisation des défauts sur place sous l'hypothèse qu'aucun défaut sur la transition ne se produit. L'état défectueux est alors exprimé par :

$$M_f(k) = M_h(k) + \varphi_{p(i)} \quad (15)$$

Où $\varphi_{p(i)}$ est le vecteur de défaut sur la place de dimension (s+n).

La détection est réalisée en générant l'indicateur de défaut $r(k)$ noté par r_p :

$$r_p = P.M_f(k) = P.\varphi_{p(i)} \quad (16)$$

et dont l'identification exige un choix de la matrice P (c'est-à-dire Q) pour faciliter la localisation rapide de l'élément défaillant.

Par ailleurs, il est possible de concevoir des résidus pour la surveillance des défauts affectant les transitions et les places (Li et al, 04). Dans ces conditions, on aboutit à la forme générale du résidu $r(k)$ qui comportera les deux effets :

$$r = D.\varphi_T + P.\varphi_P = [D \quad P] \begin{bmatrix} \varphi_T \\ \varphi_P \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} \varphi_T \\ \varphi_P \end{bmatrix} \quad (17)$$

Cette expression est identique à celle obtenue dans le cas de la surveillance des systèmes continus où la solution proposée présente une paramétrisation de la matrice R pour faciliter le découplage des effets des défauts.

V. ETUDE DE LA SURVEILLANCE DES SED

L'objectif de cette section est d'analyser les conséquences de l'introduction des éléments redondants pour la surveillance des SED. La redondance associée au modèle est réalisée par l'ajout des places qui contribuent dans le calcul et la synthèse des indicateurs de défaillances.

A. Modélisation du système

Considérons le Rdp de la figure 1 qui peut modéliser une partie d'un atelier de production flexible composé de trois places et de trois transitions.

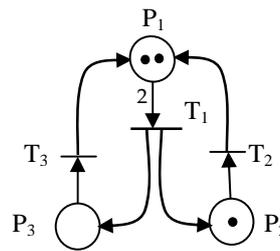


Fig. 1. Représentation d'un exemple illustratif

Le marquage initial et la matrice d'incidence sont donnés par

$$M_0 = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad B^+ = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad B^- = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Si les séquences de franchissement sont : $T_1 T_2 T_3$, le graphe de marquage obtenu à partir de l'équation d'évolution est illustré par :

Graphe de marquage

2	0	1	2
1	2	1	1
0	1	1	0

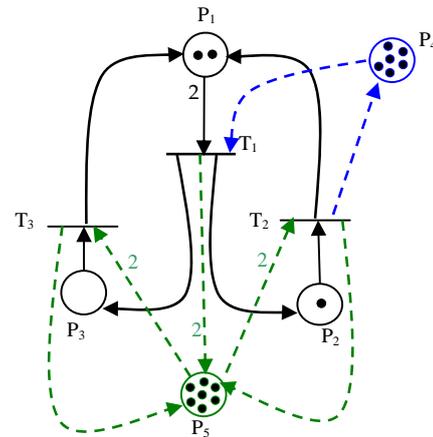


Fig 2 Incorporation du modèle de surveillance séparé

B. Identification des défaillances

Cette section est consacrée à l'identification des défaillances en se basant sur l'observation ou la mesure de l'état. Le système considéré étant supposé observable. Après chaque franchissement, nous pouvons observer l'état du système c'est-à-dire son marquage. Le mécanisme du diagnostiqueur proposé regroupe les étapes suivantes :

1. Introduire des places supplémentaires
2. Déterminer l'évolution du système global
3. Etablir le test de cohérence
4. Procéder à la localisation et au diagnostic

En adjoignant au modèle original des places supplémentaires vérifiant le théorème 1. Les matrices Q et D sont choisies indépendamment, et sont :

$$Q = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 3 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad D = \begin{bmatrix} 5 & 2 & 3 \\ 4 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

On aboutit alors à une représentation étendue du modèle (figure 2) :

$$\beta^+ = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad \beta^- = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 2 \end{bmatrix}$$

L'évolution du nouveau modèle est initiée par le vecteur marquage : $M_h = [2 \ 1 \ 0 \ 8 \ 7]^T$

La surveillance des SED sera possible si les matrices Q et D sont choisies convenablement et satisfont les conditions citées dans le théorème.

Pour décider qu'un défaut est présent, nous vérifions la cohérence des marquages prélevés avec ceux du fonctionnement normal. Dans un premier temps, nous introduisons des défaillances sur les transitions (par exemple

une défaillance sur T_1) ou chaque transition peut subir éventuellement des défaillances pré-condition ou post-condition. Les franchissements des transitions ne sont pas liés à aucune contrainte temporelle.

Si le traitement de la transition T_1 n'exécute pas ses pré-conditions, alors les jetons apparaîtront aux places de sortie P_2 et P_3 mais aucun jeton ne sera enlevé de la place d'entrée P_1 . L'état défectueux du RdP sera $q_f = [2 \ 2 \ 1]^T$ dont les graphes de marquage et de transition sont les suivant :

Graphe de marquage	Graphe de transition									
<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%; height: 60px;">2</td> <td style="width: 50%;">2</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> </table>	2	2	1	2	0	1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%; height: 60px;">1</td> </tr> <tr> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> </tr> </table>	1	0	0
2	2									
1	2									
0	1									
1										
0										
0										
et										

Le résidu généré est un vecteur comportant deux composantes r_1 et r_2 où chaque composante représente respectivement la sensibilité du résidu par rapport à une défaillance pré-conditions / post-conditions. Nous obtenons ainsi le résidu :

$$r = \begin{bmatrix} 5 & 6 \\ 4 & 6 \end{bmatrix}$$

Suivant le principe de la méthode proposée, nous pouvons alors localiser la défaillance suivant l'hypothèse énoncée:

$$H_1: \begin{cases} r_{1/i} = +D(i) \Rightarrow \text{défaillance (pré-condition) se produit sur la } i^{\text{ème}} \text{ transition} \\ r_{2/i} = -D(i) \Rightarrow \text{défaillance (post-condition) se produit sur la } i^{\text{ème}} \text{ transition} \end{cases}$$

Dans cet exemple, la défaillance produite est détectée et identifiée par une évaluation du résidu. La cohérence entre $r_{1/1}$ et la première colonne de D confirme l'existence d'une anomalie sur le processus du à une défaillance sur T_1 .

Si maintenant, la transition T_1 s'exécute correctement mais il y a une défaillance sur la place P_2 , alors l'état résultant sera de la forme $q_f = [0 \ 1 \ 1]^T$; le nombre de marque à la place P_2 a été altéré.

Graphe de marquage		Résidu
2	0	-2
1	1	
0	1	-3

L'identification peut être effectuée à l'aide de la matrice Q . Les colonnes de cette matrice sont un moyen pour analyser les signatures générées. Le diagnostic repose sur une interprétation de ces signatures et consiste à comparer la signature des résidus et les colonnes de Q . Cette comparaison est considérée à nouveau comme un problème de décision. Une défaillance sur la place i sera déclarée si la signature sera confondue avec la $i^{\text{ème}}$ colonne de Q .

Pour que toutes les défaillances sur les places puissent être localisées, toutes les signatures du résidu doivent être distinctes et analysées par rapport aux colonnes de Q [12].

Si le résidu est égal $[-3 \ -2]^T$ (respectivement $[-2 \ -3]^T$, $[-3 \ -3]^T$) alors la place P_1 est déclaré défaillante (respectivement P_2, P_3).

VI. CONCLUSION

L'étude précédente montre que, pour les exigences de la détection et de l'identification d'une défaillance donnée, il y'a plusieurs choix des matrices Q et D . Une direction intéressante qui pourrait faire un objet de travaux de recherche ultérieurs correspond au développement des critères pour le choix entre ces différentes possibilités. En fonction des caractéristiques du

système à surveiller, nous pouvons envisager à réduire la taille du diagnostiqueur (nombre de places), le nombre de connexion supplémentaire (du système original aux places supplémentaires) ou le nombre de jetons impliqués.

Au delà de ces capacités dans la modélisation, les RdP ouvre un autre volet sur la surveillance des systèmes à évènements discrets. Néanmoins, la méthode de diagnostic proposée ne permet que la détection d'une classe de défaillances celle qui ne se manifeste pas par une perte progressive des performances, mais par un changement brusque des caractéristiques de l'entité (défaillances soudaines).

REFERENCES

- [1] G Provan, "A framework for integrating discrete event system control and diagnosis." Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI'03 Acapulco, Mexico, August 9-15, 2003
- [2] H Dhouibi, "Utilisation des réseaux de Pétri à intervalles pour la régulations d'une qualité : application à une manufacture de TABAC." *Thèse de doctorat en Productique, Automatique et Informatique Industrielle, Université des Sciences et Technologies de Lille, France 2005*
- [3] V Moraru and V Trâm, "Réseaux de Pétri." Rapport final de TIPE, Institut de la francophonie pour l'informatique, Promotion 10, Juillet 2005.
- [4] T Murata, "Petri Nets: Proprieties, Analysis and applications" *Proceeding of the IEEE, Vol 77, N°4, pp 541-580, April 1989.*
- [5] R Ghoul Hadiby, "Modélisation et conduite des systèmes de production flexible par les réseaux de Pétri." *Thèse de Doctorat d'état en automatique productique, Annaba, 08/09/2003. Algeria*
- [6] A Aghasaryan, "Formalisme HMM pour les réseaux de Pétri partiellement stochastiques: Application au diagnostic de pannes dans les systèmes répartis." *Thèse de doctorat en Traitement du Signal et Télécommunications, Université de Rennes 1, France, 1998.*
- [7] S Kechidas, "Synthèse des résidus robustes pour la détection des défaut." *Thèse de Doctorat d'état en Automatique Industrielle, Annaba., Algeria. Soutenance prévue en juin 2007*
- [8] Y.Wu et C.N. Hadjicostis, "Algebraic approaches for fault identification in discrete event systems." *IEEE Transaction on Automatic Control, Vol: 50, N°12, December 2005.*
- [9] Y Wu, and C N Hadjicostis, "Failure identification in discrete event systems using encoded Petri Net states." *Coordinate Science Laboratory and Department of Electrical and Computer Engineering 13 December 2002*
- [10] C.N.Hadjicostis and George.C.Verghes, "Monitoring Discrete Event systems using Petri net embeddings." *IEE Proc-Gener, Transm.Distrib, Vol 147, N°5, September 2000.*
- [11] C. N. Hadjicostis and G. C. Verghese, "Monitoring discrete event systems using Petri net embeddings, Application and Theory of Petri Nets." *Series Lecture Notes in Computer Science, vol. 1639, pp. 188-207, 1999.*
- [12] S Kechida and N Debbache, "Failure Diagnosis on Discrete Event Systems" *American Journal of Applied Sciences 2(11): pp1547-1551, 2005.*