

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

703



Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master Académique

Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Automatique et Informatique Industriel (AII)
Spécialité : Commande et Diagnostic des Systèmes Industriels
(CDSI)

Diagnostic des Systèmes à Evènement Discret

Présenté par : BOUKEHIL WAFA

Sous la direction de : Mme BOUBIDI ASSIA

JUIN 2011



Remerciement

بسم الله الرحمن الرحيم و الحمد لله أوله وآخره والصلاة والسلام على
رسوله الكريم

*Avant tout je remercie le bon dieu qui me donné la volonté et le
pouvoir d'élaborer cet ouvrage*

Je remercie vivement mon encadreur Mme BOUBIDI ASSIA.

*Mes meilleurs remerciements aux membres du jury qui ont
accepté d'examiner, dévaluer et juger ce travail.*

Tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

*Adressons Mons remerciements, avec grande sincérité à notre
chef département Dr : BOULOUEH.*



Dédicace

Je dédie ce fruit de fin d'étude à la science.

A mes très chers parents :

*Maman, la fleur de ma vie et le symbole de tendresse et
courage qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et
réussite.*

*Papa, pour m'avoir toujours en courage et insister
pour suivre mes études.*

Mes très chères sœurs : Soumia et Ahleme.

Mes très chers frères : Rabeh, zaki et riadh.

A ma très chère : abdallah.

*Mes chères amies : sabrina, nawal, fatiha, houda,
siheme, chahra, hassiba, sameh.*

Tous mes amies surtout la promotion master CDSI

2009-2011

*Tous mes collègues pour les bons moments que nous
avants vécus ensemble*



Table de matière

| | |
|--|-----------|
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre 1 : diagnostic des défauts dans les systèmes automatisé..... | 3 |
| .1. Introduction | 4 |
| .2. Les systèmes automatisés de production (SAP)..... | 4 |
| 1.2.1 Définition | 4 |
| 1.2.2 Structure générale..... | 5 |
| 1.2.3 Décomposition fonctionnelle..... | 5 |
| a) La partie commande | 6 |
| b) La partie opérative..... | 6 |
| 1.2.4 Différents types de SAP..... | 6 |
| 1.2.5 Mode de fonctionnement..... | 7 |
| 1.2.6 Les potentiels dysfonctionnements..... | 7 |
| 1.3. La problématique du diagnostic dans les SAP..... | 9 |
| 1.4. Définitions et terminologie des diagnostics..... | 10 |
| 1.5. Surveillance et diagnostic..... | 12 |
| 1.5.1 Surveillance..... | 12 |
| 1.5.2 Détection..... | 13 |
| 1.5.3 Diagnostic..... | 13 |
| 1.6. Les défauts..... | 13 |
| 1.6.1 Définition..... | 13 |
| 1.6.2 Représentation..... | 13 |
| 1.6.3 Type de défauts..... | 14 |
| 1.6.4 Forme de défauts..... | 14 |
| 1.6.5 Localisation des défauts..... | 15 |
| 1.6.6 Identification des défauts | 16 |
| 1.7. Classification des méthodes de diagnostic..... | 16 |
| Conclusion..... | 18 |
| Chapitre 2 : modélisation des SED..... | 17 |
| 2.1. Introduction..... | 18 |
| 2.2. Description des SED..... | 18 |
| 2.2.1 Définition d'un SED..... | 18 |
| 2.2.2 Caractérisation des SED..... | 19 |
| 2.2.3 Modélisation des SED..... | 19 |
| 2.2.3.1 Pourquoi modélisée..... | 19 |
| 2.2.3.2 Outils de modélisation..... | 20 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.3.3 Les RdP..... | 20 |
| a) Introduction..... | 20 |
| b) Notion de base..... | 20 |
| b1) Définition..... | 20 |
| b2)..... | |
| b3) structure d'un RdP..... | 21 |
| c) marquage..... | 22 |
| d) franchissement..... | 23 |
| e) Méthodes d'analyses..... | 24 |
| e1) graphe de marquage..... | 24 |
| e2) Equation d'état..... | 26 |
| 2.2.3.4 Rdp temporisés..... | 29 |
| a) fonctionnement d'un RdP P temporisé..... | 30 |
| b) fonctionnement d'un RdP T-temporisé..... | 30 |
| 2.2.3.5 RdP temporels..... | 32 |
| Conclusion..... | 36 |
| Chapitre3 diagnostic des SED..... | 37 |
| 3.1 Introduction..... | 38 |
| 3.2 Cadre général du diagnostic des SED..... | 38 |
| 3.2.1 Les méthodes de diagnostic des SED..... | 38 |
| 3.2.2. Concepts liés à la surveillance..... | 39 |
| 3.2.3. Conception d'un diagnostiqueur..... | 40 |
| 3.2.4. Notion d'observabilité et contrôlabilité des SED..... | 41 |
| 3.2.5. Notion de diagnosticabilité..... | 41 |
| 3.2.5 Surveillances des SED..... | 42 |
| 3.2.7. Modes de défaillances..... | 44 |
| a) Transition franchie..... | 44 |
| b) Transitions devenue infranchissable..... | 44 |
| c) Action erronée..... | 44 |
| d) Modèles de défauts additifs..... | 46 |
| 3.2.8. Perturbations..... | 47 |
| 3.2.9. Surveillance à base de modèle..... | 47 |
| 3.3. Méthode fondée sur les RdP temporisées..... | 48 |
| 3.4. Méthode De La Surveillance Séparée Des Sed..... | 49 |
| 3.5 Représentation du superviseur (diagnostiquer)..... | 51 |
| 3.6 Equation d'évolution..... | 51 |
| Conclusion..... | 55 |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| Conclusion général..... | 58 |
|--------------------------------|-----------|

Introduction générale

L'automatisation des installations industrielles vise à augmenter la productivité des systèmes et à réduire les coûts de la maintenance des équipements de production. Cependant, la complexité due à l'automatisation des systèmes de production implique des besoins croissants en termes de disponibilité et de performance. Ainsi, il est nécessaire de disposer d'une fonction permettant le diagnostic des défaillances pouvant affecter le fonctionnement du système. Ceci permet d'envisager des actions correctives pour que ce dernier retourne à son fonctionnement nominal.

Un module de diagnostic est nécessaire, non seulement pour améliorer les performances et la productivité des systèmes, mais également pour limiter les conséquences des pannes qui peuvent être catastrophiques sur le plan des biens et des vies humaines.

La fonction de diagnostic consiste à détecter une défaillance, de localiser son origine et de déterminer ses causes. Son principe général consiste à confronter les données relevées au cours du fonctionnement réel du système avec la connaissance dont on dispose sur son fonctionnement normal et anormal.

Les approches de diagnostic développées durant ces dernières décennies peuvent être classées en deux grandes catégories :

- Les approches avec modèles qui se basent sur l'existence d'un modèle du système à surveiller
- les approches sans modèles qui se basent sur l'analyse des variables de surveillance et sur l'expertise humaine.

L'utilisation d'un modèle du système pour son diagnostic nécessite souvent sa conformité au critère de diagnosticabilité.

Il s'agit de vérifier si chaque défaillance peut être détectée et isolée dans un temps fini après l'occurrence du défaut source de la défaillance. En d'autres termes, ce critère consiste à déterminer si le modèle du système est suffisamment riche en information pour permettre l'identification de tous les défauts affectant son fonctionnement.

De nombreuses approches de diagnostic à base de modèles ont été proposées dans la littérature. On retrouve ainsi les approches issues de la communauté FDI (Fault Détection and Isolation), les approches issues de la communauté des Systèmes à Événements Discrets (SE) et celles issues de la communauté DX (Diagnosis eXpert system).

Notre travail est basée sur la notion de diagnostic des SED qui a été introduite au milieu des années 1990 dans les travaux de Sampath (Sampath et al. 1995, 1996), qui ont inspiré de nombreuses extensions repose sur la compilation d'un automate appelé diagnostiqueur, à partir d'une machine à états finis modélisant le comportement du système. La dynamique du SED dans cette approche est décrite par une séquence d'événements qui caractérisent les transitions d'états du système. Ainsi, la prise en compte du temps est réalisée uniquement par l'ordre d'occurrence des événements. Cela entraîne une perte considérable d'information, indispensable pour l'identification des défauts.

En effet, les dates d'occurrence des événements peuvent jouer un rôle considérable dans la discrimination des défauts. Dans certains cas, les comportements défaillants se manifestent uniquement par un changement des dates d'occurrence des événements observables, ce qui rend inappropriée, l'utilisation d'une démarche de diagnostic fondée sur une abstraction classique discrète de l'évolution du système.

Pour le cas des SED modélisés par des RdP, si rajoute des capteurs, on rajoute des événements, le modèle change sans que les mécanismes désélection classique ne soient nécessairement enrichis.

Et Par contre, on peut introduire la redondance analytique (caractérisée en termes d'espace de parité et diagnostic, les défauts en se basent sur les relations de parité. la méthodologie dans (Hadjicostis 99) utilise cette idée pour surveille les défauts dans les SED à partir d'une modélisation par RdP.

Cette approche consiste ajouter des places supplémentaire sous forme d'un modèle incorporé dans le modèle RdP original. Ces places redondantes aboutissent à des relations de parité qui permettant le diagnostic des défauts des transitions et / ou des places du système global.

Dans ces conditions, des défauts de type place provoquent la corruption du nombre de marquage dans quelque places du RdP tandis que des défauts de transition empêchent la marque d'être élevée/déposée à des places d'entrée/sortie d'une transition particulière.

Cette méthode à l'avantage de conserver le modèle de base du SED en aboutissant à aboutissent à des résultats intéressant dans l'étude de la surveillance de ces système.

Chapitre 1

Diagnostic des Défauts dans les Systèmes Automatisés

Résumé : dans ce chapitre introductif, nous présentons, le contexte de notre étude à savoir; les Systèmes Automatisés de Production(SAP) , dans la littérature de la surveillance et du diagnostic. On peut trouver plusieurs définitions quelquefois divergents, c'est la raison pour laquelle on donne les définitions des mots clés nécessaires pour la compréhension de ce rapport. En fin, nous présenterons une classification non exhaustive des méthodes de diagnostic des défauts rencontrées dans la littérature

1.1 Introduction

Durant ces dernières décennies, l'automatisation des systèmes industriels vise à augmenter les performances de production ainsi que la qualité du produit à travers sa traçabilité et la diminution des coûts de sa fabrication. Dans ce contexte, les systèmes de surveillance des équipements industriels jouent un rôle important pour maintenir la disponibilité des machines et les lignes de production.

Un système de surveillance observe en continu l'évolution des équipements à travers des données quantifiables et/ou qualifiables collectées à partir du système surveillé. Ces données permettent de signaler au bon moment à l'opérateur les écarts détectés par rapport au comportement nominal prévu. Ceci permettra de mettre en œuvre les actions préventives et correctives. Les approches de surveillance sont généralement divisées en deux catégories : Les approches de surveillance avec modèles, et Les approches de surveillance sans modèles les premières se basent sur l'existence d'un modèle formel de l'équipement et utilisent généralement les techniques de l'automatique. Dans la deuxième catégorie de méthodologies, le modèle du procédé est inexistant ou difficile à obtenir, et elles se basent ainsi sur des techniques statistiques on issus du donnais de l'Intelligence Artificielle (AI).

L'objectif de ce chapitre est de présenter les concepts fondamentaux liés au diagnostic et à la surveillance des systèmes automatisés de production

1.2 Les Systèmes Automatisés de Production (SAP)

Les besoins croissants en termes de productivité, de qualité et de disponibilité des systèmes industriels, durant ces dernières décennies, ont fortement participé au développement du processus d'automatisation des systèmes industriels. Cette automatisation vise à augmenter les cadences de production tout en réduisant le temps de maintenance et gardant une certaine flexibilité pour pouvoir s'adapter à la production des nouveaux produits.

1.2.1 Définition

D'une manière générale, un système est un ensemble d'éléments en interaction organisé dans un environnement avec lequel il interagit pour réaliser une information qui lui est attribuée.

Un système automatisé de production permet de remplir, de manière automatique, des fonctions, répondant à certains besoins spécifiques, précédemment assurées par l'homme.

1.2.2 Structure générale

Un système automatisé est un moyen d'assurer l'objectif primordial d'une entreprise, la compétitivité de ses produits. Il permet d'ajouter une valeur aux produits entrants

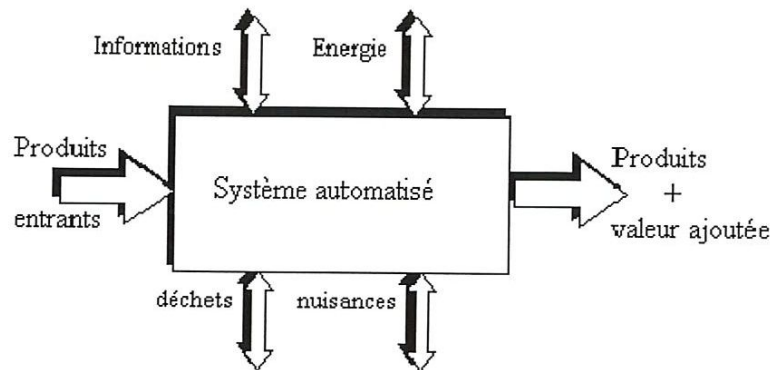


Fig1.1. Structure générale d'un SAP

La notion de système automatisé peut s'appliquer aussi bien à une machine isolée qu'à une unité de production, voire même à une usine ou un groupe d'usines. Il est donc indispensable, avant toute analyse, de définir la frontière permettant d'isoler le système automatisé étudié de son milieu extérieur.

Chaque système automatisé comporte deux parties

1.2.3 Décomposition fonctionnelle

On peut décomposer fonctionnellement un système automatisé de production en deux parties : la partie commande et la partie opérative, comme il est illustré dans la figure.1.2

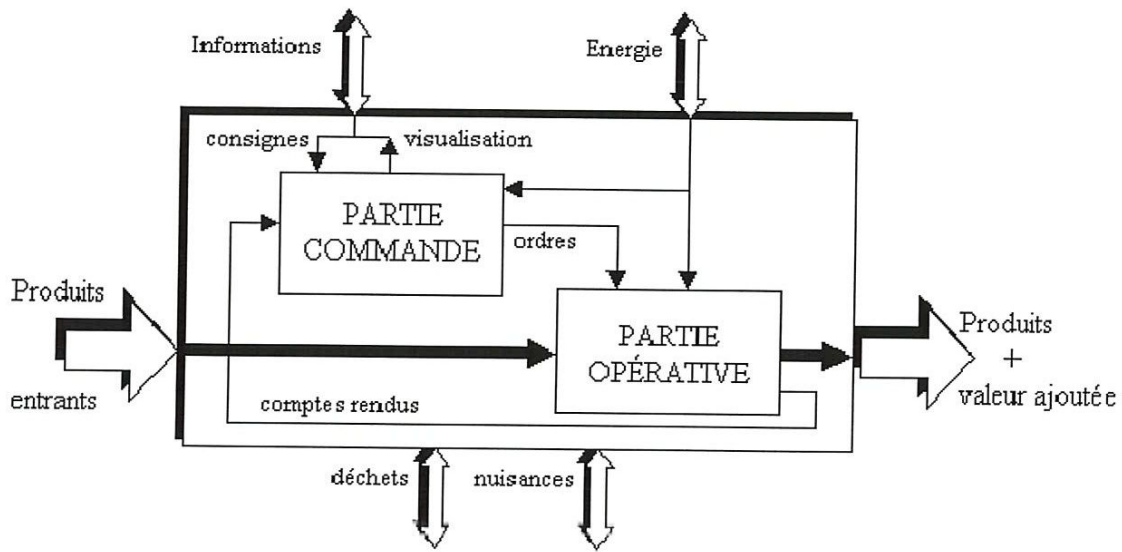


Fig1.2 Décomposition fonctionnelle d'un SAP

- a) **La partie commande (pc)** : N'est autre que la logique de fonctionnement du processus que l'on veut automatiser. Elle envoie des ordres à la PO et permet la communication avec l'opérateur. Les deux composantes principales de cette partie concernent la supervision (le pilotage) et la surveillance (le suivi). La fonction de surveillance permet de vérifier le bon fonctionnement d'un équipement ou le bon déroulement d'un procédé. Les émissions d'ordres ou de signaux de commande vers la partie opérative sont transmises par les pré-actionneurs, les comptes rendus sont fournis à la partie commande par les capteurs.
- b) **La partie opérative (po)**: Exécute les ordres envoyés par la PC à l'aide d'actionneurs et lui communique les informations collectées à partir de capteurs, autrement dit les comptes-rendus. Une partie opérative (PO) dont les actionneurs (moteur électrique, vérin hydraulique, ...) agissent sur le processus automatisé.

1.2.4 Différents types de SAP

Les SAP peuvent être caractérisés à travers la dynamique exprimant leur fonctionnement. Dans la littérature il y a trois abstractions pour modéliser cette dynamique. Les systèmes continus, les systèmes à événements discrets et les systèmes dynamiques hybrides.

Selon l'objectif considéré, en basant notre étude sur les Systèmes à Evénements Discrets (SED)

❖ Les Systèmes à Événements Discrets (SED) :

Un Système à Événements Discrets (SED) est un système à espace d'état discret dont les transitions entre les états sont associées à l'occurrence d'événements discrets asynchrones. Ces systèmes recouvrent un grand nombre de situations, allant de la circulation de véhicules (en réseau urbain ou en atelier de fabrication) au fonctionnement de machines dans un atelier flexible. Plusieurs modèles mathématiques ont été proposés pour l'analyse et la commande de ces systèmes, en particulier les automates à états finis et les Réseaux de Pétri (Rdp). Certains modèles de SED, tels que les automates temporisés, utilisent des variables temporelles de nature symbolique, où le

1.4.5 Mode de fonctionnement

Un système présente généralement plusieurs modes de fonctionnement. On peut observer des modes de plusieurs types parmi lesquels:

_ **Mode de fonctionnement normal** (nominal) : dans ce mode, le fonctionnement du SAP est conforme aux exigences requises. Les performances du système coïncident avec le cahier des charges établi par l'exploitant.

_ **Mode de fonctionnement dégradé** : le SAP remplit partiellement les exigences requises. Malgré l'absence de défaillances, les performances du système sont inférieures à celles attendues par l'exploitant. Cette dégradation progressive des performances du SAP est généralement due au vieillissement d'un ou plusieurs composants du système.

_ **Mode de défaillance** : le système passe à ce mode suite à l'occurrence d'une ou plusieurs défaillances. Les conséquences de ces défaillances sur le système caractérisent le mode de défaillance. En effet, un système peut avoir plusieurs modes de défaillances, par contre, il admet un seul mode de bon fonctionnement.

1.2.6 Les potentiels dysfonctionnements :

L'utilisation des SAP dans le milieu industriel doit répondre à des objectifs prédéfinis. Malheureusement, cette utilisation peut être confrontée à des dysfonctionnements non prévus dont les conséquences sont désastreuses pour la sécurité des hommes et des équipements. Les dysfonctionnements peuvent être de deux types : externes ou internes

▪ Les dysfonctionnements externes peuvent venir :

_ d'un problème dans la matière première. Par exemple, la rupture du stock d'une matière première, ou le non conformité de la qualité par rapport aux exigences de fabrication, . . . ;

_ des aléas de l'environnement du système. Par exemple, un court circuit causant une coupure de l'alimentation électrique d'un SAP, . . . ;

_ d'une modification de la commande par le client. Par exemple, un changement dans la spécification du produit, . . .

▪ **Les dysfonctionnements internes peuvent être dus :**

_ à un problème physique dans la PC. Par exemple, une mauvaise communication, une panne du calculateur, . . . ;

_ à un problème logiciel dans la PC. Par exemple, un bogue de programmation, le plantage du système d'exploitation, . . . ;

_ à un problème dans la PO. Par exemple, la détérioration d'un composant physique, d'un capteur ou d'un actionneur, . . .

Ce travail se focalise sur le diagnostic des dysfonctionnements affectant la partie opérative d'un SAP.

▪ **Les dysfonctionnements de la partie opérative**

Les dysfonctionnements de la partie opérative sont dus à l'incapacité d'un ou plusieurs composants, dit défaillants, à remplir leur fonction. Les défaillances affectant les composants d'un SAP sont multiples et de différentes natures.

Selon, la défaillance d'un composant peut être à l'origine :

_ D'une détérioration progressive due au vieillissement de ce composant. Par exemple, l'usure progressive d'une pièce mécanique ;

_ D'une détérioration brusque, comme dans le cas d'une mauvaise manipulation d'un opérateur abîmant un composant ;

_ D'une propagation de la défaillance d'un autre composant. Par exemple, suite à la défaillance d'un capteur, la PC peut générer de mauvaises actions causant la défaillance d'un autre composant.

Afin d'utiliser les SAP, tout en assurant la sécurité des hommes et des installations, il est indispensable de disposer d'un mécanisme de surveillance des défaillances.

Ce mécanisme doit être capable d'identifier les éléments défaillants du système, permettant ainsi d'exécuter les actions de réparation adéquates, afin que le SAP retrouve ses performances nominales.

1.3 La problématique du diagnostic dans les SAP

Suite aux récentes révolutions technologiques dans le domaine industriel, on retrouve de plus en plus d'éléments complexes intégrés dans un SAP, notamment dans sa partie opérative.

Cette complexité des SAP est accompagnée par des besoins croissants en termes de sûreté de fonctionnement et de sécurité. En effet, il est indispensable de mettre en œuvre une fonction de surveillance permettant de réagir à temps, aux possibles dysfonctionnements. Une réaction immédiate aux dysfonctionnements permet d'une

part, d'éviter de considérables pertes humaines et matérielles. D'autre part, elle permet d'échapper à la propagation des défaillances entraînant ces dysfonctionnements, facilitant ainsi le pistage des causes de ces défaillances.

Sur l'état du système ou la non exécution de l'ordre dépend à son tour du matériel d'acquisition des informations et de la chaîne d'action. D'autres défaillances qui dépendent des systèmes opérant et de la partie commande sont illustrées par la figure 1.3

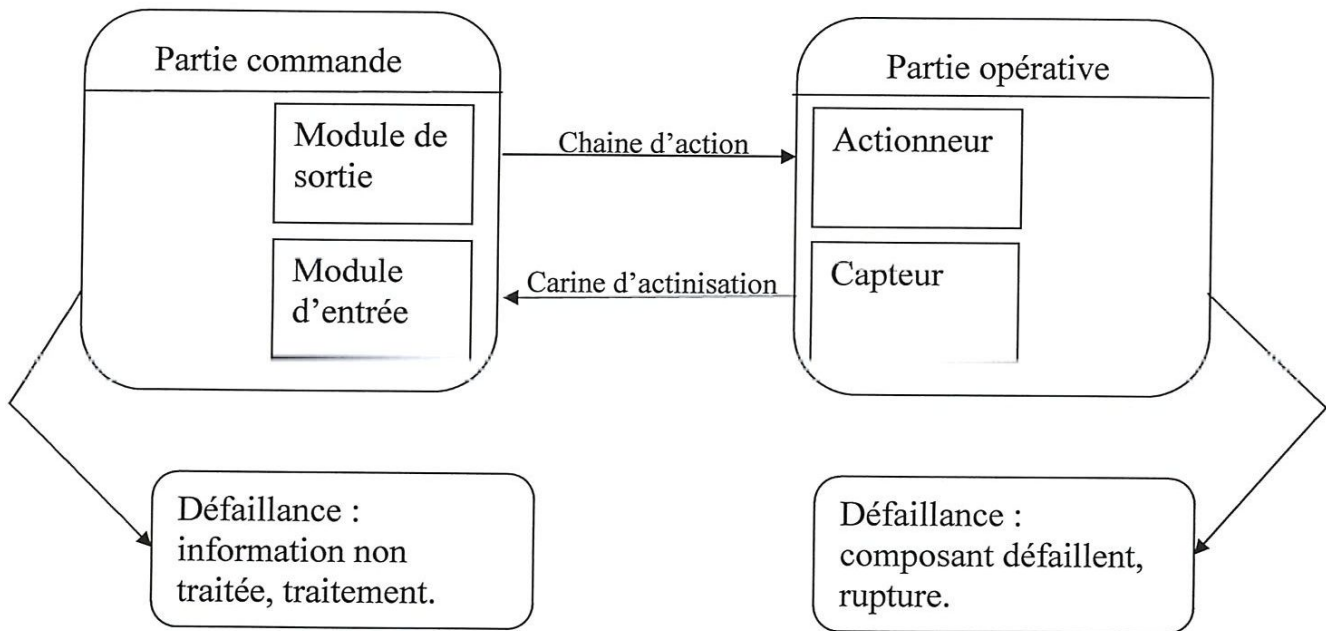


fig. 1.3 illustration des défaillances dans un Sed

Afin d'illustrer le principe d'une fonction surveillance, il est indispensable de présenter quelques terminologies.

1.4. Définitions et terminologie propre au diagnostic

Dans la littérature scientifique, on trouve une grande diversité de vocabulaires qui sont spécifique pour chaque communauté (continu avènement discret), il semble intéressant dans un premier temps, d'établir un lexique sur les termes communs qui seront utiles pour la compréhension du présent manuscrit.

Nous présentons dans la suite quelques définitions

- **Anomalie** : Le terme anomalie est générique, il permet de décrire tout ce qui n'est pas conforme à une référence. Du point de vue de l'automatique, une telle référence est définie à l'aide d'un modèle du système à diagnostiquer. Par exemple un modèle de fonctionnement normal constitue une référence permettant de détecter des anomalies à partir des observations.

- **Dégradation** : Une dégradation représente une perte de performances des fonctions assurées par un équipement. Si les performances sont au-dessous du seuil d'arrêt défini dans les spécifications fonctionnelles de cet équipement, il n'y a plus de dégradation mais défaillance.
- **Défaut** : Un défaut/ou une faute est une imperfection physique localisée au niveau d'un composant, est une inadmissible de son comportement standard habituel acceptable, d'au moins une propriété caractéristique ou d'une variable du système.
- **Défaillance** : Une défaillance est une modification des caractéristiques d'un système ou d'un de ses composants qui se produit à un instant inconnu et qui tend à dégrader les performances du système définies dans les spécifications techniques. Par exemple le fait qu'un capteur soit dérégulé peut conduire la fonction de régulation à ne plus pouvoir tenir les spécifications de précision. La même défaillance peut amener le système de sécurité, soit à ne pas engager les actions nécessaires, soit à les engager de manière intempestive
- **Panne** : Les pannes peuvent provenir des composants matériels (coupure d'un câble, problème processeur, problème d'alimentation, etc.), erreurs logicielles ou humaines, ou bien peuvent représenter des conditions anormales (goulet d'étranglement, erreur de connexion, etc.)

Une panne est l'inaptitude d'un dispositif (composant ou système) à assurer une fonction requise.

Si nous écartons la possibilité d'erreurs de conception, la définition précédente implique que toute défaillance entraîne une panne.

La défaillance correspond à un événement et la panne à un état.

Sur le plan temporel, la défaillance correspond à une date et la panne à une durée comprise entre la date d'occurrence de la défaillance et la date de fin de réparation.

- **Incident** : On appelle incident tout événement à caractère imprévu dont l'origine phénoménologique est une *faute*, et qui provoque une *erreur* ou un *écart*.

Lorsque l'erreur est observable, celle-ci se traduit par une *défaillance*. Le système passe alors de l'état de fonctionnement *normal* à l'état de fonctionnement *dégradé*.

- **Aléas** : On appelle aléas, un événement imprévu qui peut résulter d'une faute, mais aussi d'une intervention de l'opération, ou de tout autre modification non attendu de l'état du système
- **Perturbation** : Le terme perturbation regroupe tout type de sollicitations inconnues (imprévues) de certains composants ou organes sans que les caractéristiques de ces composants soient changées. Le fonctionnement du système résultant sera qualifié de dégradé.
- **Symptôme** : Un symptôme correspond à une ou plusieurs observations qui révèlent d'un dysfonctionnement. Il s'agit d'un comportement anormal.
- **Observation** : Une observation est une information obtenue à partir du comportement ou du fonctionnement réel du système.

- **Mesure** Une mesure est une observation élémentaire de fait qu'elle reflète une et une seule grandeur physique. Elle est représentée par une variable dont le contenu est l'image d'une grandeur physique. Son obtention s'effectue par l'intermédiaire de capteurs.

1.5 Surveillance et diagnostic

Les SAP sont généralement caractérisés par la complexité de leurs structures, puisqu'ils imbriquent de nombreux éléments complexes de la PO. Le taux d'apparition de pannes dans un système augmente en fonction de la complexité de sa structure, ce qui rend la tâche d'analyse de ces pannes difficile. Cette difficulté justifie la nécessité de disposer d'un système de surveillance permettant d'alerter l'opérateur en cas de pannes, afin de pouvoir décider à temps des actions correctives.

1.5.1 Surveillance

Un système de surveillance a comme première vocation d'émettre à partir des informations générées par les capteurs, des alarmes (Valette et al., 1989) dont l'objectif est d'attirer l'attention de l'opérateur de supervision sur l'apparition d'un ou plusieurs événements susceptibles d'affecter le bon fonctionnement de l'installation, comme le dépassement d'un seuil de sécurité au niveau du remplissage d'un réservoir.

Dans le cadre de notre travail, nous considérons la surveillance comme un dispositif passif, dans le sens où ce dispositif n'influence pas le comportement du système à diagnostiquer.

Un système de surveillance permet de détecter les défaillances en observant l'évolution du système, puis à les diagnostiquer en localisant les éléments défaillants et enfin identifier les causes premières. Nous pouvons distinguer deux fonctions principales dans la surveillance qui sont la détection et le diagnostic.

1.5.2 Détection

La fonction de détection permet de discerner tout écart du système par rapport à son état de fonctionnement normal. Autrement dit, elle permet de déterminer la présence de défauts dans un système. Pour assurer cette fonction, il est indispensable de pouvoir distinguer entre les situations normale et anormale. Cette fonction représente très souvent un sujet de débat concernant sa place.

Dans certains travaux, cette fonction est considérée comme un élément distinct de la fonction de diagnostic et plutôt une entité de la surveillance. D'autres travaux considèrent cette fonction comme une information primordiale et indissociable du diagnostic. Ainsi, ils définissent le diagnostic comme la détection, la localisation et l'identification de défauts.

1.5.3 Diagnostic

La fonction diagnostic permet de déterminer les causes et de localiser les éléments défaillants, qui ont entraîné la dégradation du système. En effet, le diagnostic établit un lien de cause à effet entre un symptôme observé et la défaillance constatée.

Cette fonction suit la fonction de détection et inclut les fonctions de localisation et d'identification.

1.6 Les défauts

1.6.1 Définition

Est un inadmissible de son comportement standard habituel acceptable, d'au moins une propriété caractéristique ou d'une variable du système.

1.6.2 Représentation

Les défauts sont répertoriés selon leur effet sur le comportement de système.

Un défaut correspond à un changement (dépendant du temps) du comportement du système.

Généralement il n'est pas possible de déterminer comment ce changement se développe, et il est ainsi difficile de trouver une représentation mathématique pour l'aspect de défaut. Cependant, créer une taxonomie des aspects de défaut est toujours utile dans l'analyse des systèmes de détection et localisation de défauts DLD (FDI : Fault Detection and Isolation, *en anglais*). Il deviendra évident que le problème FDI est plus difficile pour certains types de défaut et moins pour d'autres, et que quelques représentations sont plus convenus à certains défauts que 'autres.

1.6.3 type de défauts

Les défauts peuvent également se divisés en trois classes différentes selon dans quelle partie du système ils se produisent

- i. **Les défauts provenant du processus** : ils correspondent aux changements des paramètres dans une chaîne de production ou à des signaux d'entrée inconnus dans un système.

Par exemple : une fuite dans une cuve.

On fait appel alors à la détection de défauts composants.

- ii. **Défaut capteurs** : ce sont des défauts qui se produisent dans des appareils de mesure et sont souvent décrits comme défauts additifs,

Par exemple : biais, dérive.

On procède alors à la détection de défauts instruments (IFD: Instruments For Détection).

- iii. **Défauts actionneurs** : ce sont des défauts d'excitations ou actionneurs qui peuvent être décrits d'une manière identique

Par exemple défauts de la vanne d'alimentation.

On parle donc de la détection de défauts actionneur (AFD : Actionneur For Détection)

1.6.4 Forme des défauts

L'effet de ces défauts apparaît sur le modèle du système comme :

- **Défauts additifs** : ces défauts n'affectent pas directement le dynamique e processus, ceci signifie que les caractéristiques du comportement e processus ne sont pas modifiées par le défaut. Les défauts capteurs et/ou actionneurs sont bien écrits comme défauts additifs.
- **Défauts multiplicatifs** ou non additifs : se sont les défauts qui provoquent des changements des paramètres de processus, ils affectent directement la dynamique de système.

Un défaut ans un composant du système agit comme un défaut multiplicatif.

La figure suivante illustre les différentes formes de défauts agissant sur le système physique. On distingue trois types de défauts qui affectant respectivement l'entrée, la sortie et les paramètres du système.

L'effet des défauts sur le comportement de système peut parfois être difficile à distinguer.

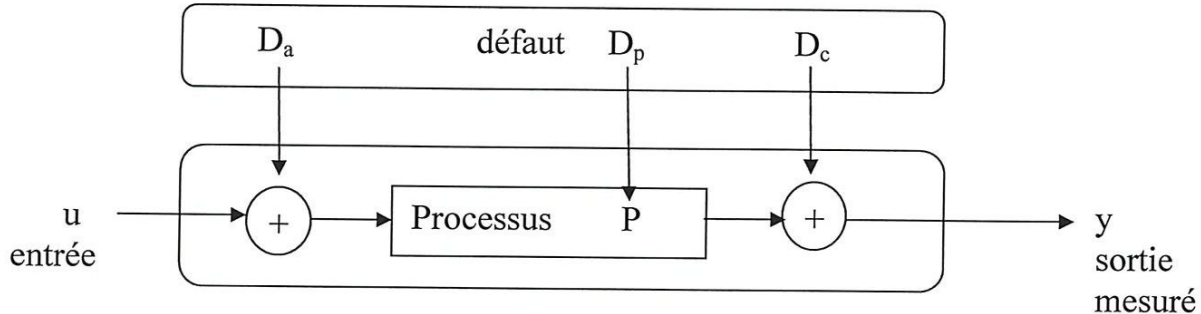


Fig. 1..4 représentation des défauts

D_a , D_c et D_p sont respectivement les défauts sur actionneurs, capteurs et systèmes.

1.6.5 Localisation de défauts :

Il s'agit de localiser le sous-système affecté par le défaut détecté, responsable de la défaillance du système. La localisation consiste, en effet, à remonter les symptômes pour retrouver l'ensemble des éléments défaillants. Ce problème est difficile à résoudre. En effet, il est possible de déterminer une défaillance, ou une panne, résultant d'un défaut. Par contre, le problème inverse est plus difficile à résoudre, puisque une panne peut résulter d'un ou plusieurs défauts, comme il est montré dans la figure 1.5

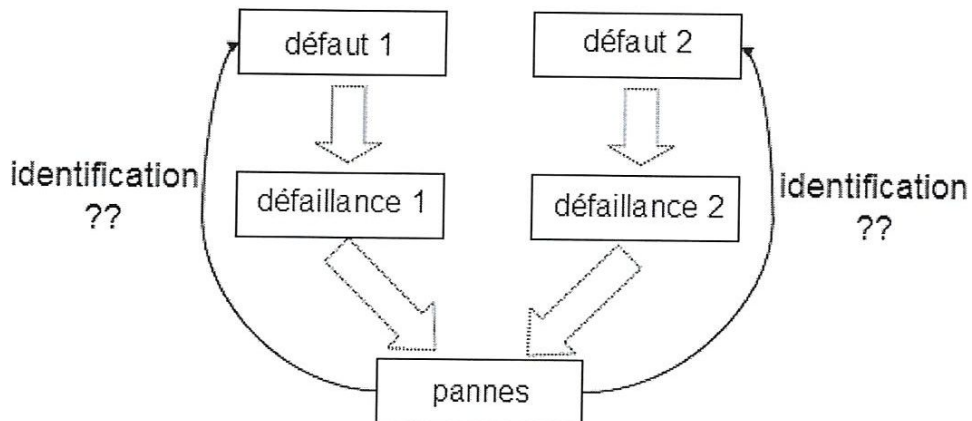


Fig. 1.5– La difficulté de localiser des défauts

1.6.6. Identification de défaut

Cette fonction suit la fonction localisation. Elle consiste à identifier les causes qui ont mené à une situation anormale.

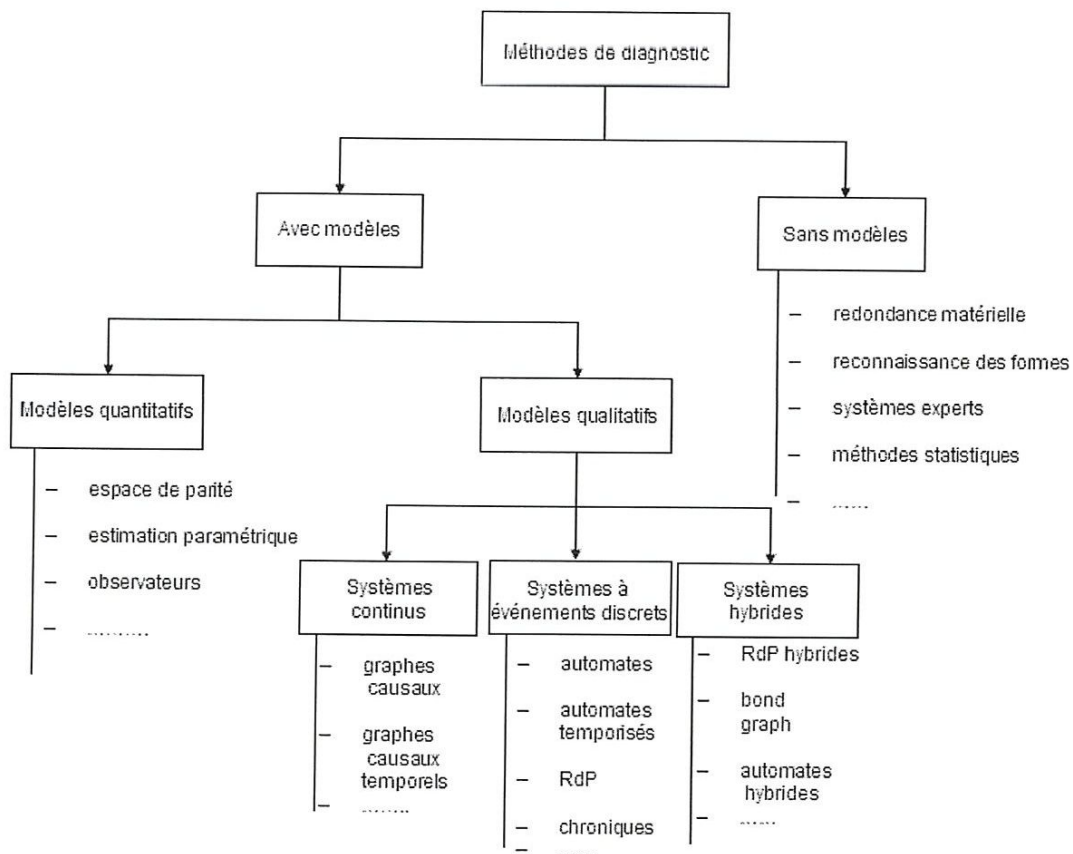
Exemple 2.3.1

Afin de mieux clarifier les différentes notions de surveillance, détection, diagnostic, localisation et identification, nous considérons l'exemple d'une panne d'huile dans une voiture. Nous pouvons constater que la dégradation des performances de cette voiture apparaît suite à une surconsommation d'huile, tout en restant au dessous d'un seuil de consommation. A un certain moment, cette dégradation peut être accompagnée, quelquefois, par l'observation de symptômes de défaillances, comme le dégagement d'une fumée blanche. La détection correspond au dépassement d'un certain seuil de consommation, qui provoque le déclenchement d'une alarme indiquant l'occurrence d'une *défaillance*.

Le système de diagnostic permet de localiser le sous-système à l'origine de cette surconsommation (les segments du moteur, qui ont pour fonction d'assurer l'étanchéité du piston dans le cylindre) et d'identifier la cause de surconsommation (par exemple, l'usure des segments).

1.7 Classification des méthodes de diagnostic

Les méthodes de diagnostic des défauts utilisées dans le milieu industriel sont très variées. Leur principe général repose sur une comparaison entre les données observées au cours du fonctionnement du système et les connaissances acquises sur son comportement normal et ses comportements de défaillance. Dans cette section, nous présentons une classification des principales méthodes de diagnostic rencontrées dans la littérature. Cette classification, représentée dans la figure 1.6 peut être réalisée selon plusieurs critères tels que la nature de l'information disponible (quantitative ou qualitative), la dynamique du système (continu, discret ou hybride), la structure de prise de décision (centralisée, décentralisée ou distribuée).



1.6 Une classification des méthodes de diagnostic

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la problématique générale de surveillance des systèmes automatisés de production.

A travers ce premier chapitre, nous avons souligné de diagnostic dans le bon fonctionnement d'un processus industriel.

Ce chapitre à été dédiée à la présentation de quelques terminologies notions et nos clés utilisés dans ce mémoire, en effet, nous avons établir que le diagnostic des défauts dans les SAP fait a travers de trois fonctions de base la détection, la localisation et l'identification

Dans l chapitre suivant, nous allons rappeler issues de la communauté de SED, les classe et les principaux outils de modélisation. Nous étudions également les systèmes qui admcttent un modèle discret par les réseaux de pétrl(RDP).

CHAPITRE 2

Modélisation des SED

Résumé : Ce chapitre présente un cadre général pour la modélisation des SED. D'abord, nous faisons un rappelle sur la classe des SED ainsi que leur principaux outils de modélisation. Notre étude se situe dans contexte des systèmes qui admettant un modèle décrit par un automate ou par un RDP réseaux de pétri.

2.1 Introduction

L'étude des systèmes industriels s'est intéressée initialement aux systèmes physiques. Généralement décrit par les équations différentielles et aux dérivés partielles auxquelles obéissent les phénomènes physiques correspondants.

Avec le progrès de la technologie, la description du comportement de tels systèmes devient de plus en plus complexe, ce qui a favorisé certaines simplification : linéarisation....

Cependant, ces simplifications ne sont pas applicables dans tous les systèmes.

Habituellement, les systèmes dynamiques sont abordés par les approches issues des systèmes continus ou des systèmes à événements discrets.

Ce chapitre est consacré à la présentation sur les principales méthodes de modélisation.

2.2 Description des SED

Une grande variété des systèmes physique peut être représentée par des modèles SED : les systèmes manufacturiers, les systèmes de transport, les systèmes de communication et d'autre dont le comportement est basé sur l'occurrence d'évènements asynchrones dans le temps.

L'importance prise par ces systèmes dont notre société a conduit de nombreux chercheurs a proposés des modèles mathématiques afin d'en évoluer les performances et optimiser leurs conception ou leur pilotage.

2.2.1 Définition d'un SED

Un système à évènements discrets est un système dont l'état évolue en fonction de l'occurrence d'évènements asynchrones, sur une échelle de temps continue.

Exemples :

Quand la « production » est finie (production d'une seule pièce produite à la fois), un producteur dans un stock, s'il y a de la place libre dans ce stock. Dont la capacité est de 3 unités. Dès qu'il a pu faire le dépôt, il commence à produire une autre pièce. Un consommateur, dès qu'il a fin de consommer (une seule pièce à la fois), prélève une pièce dans le stock s'il n'est pas vide.

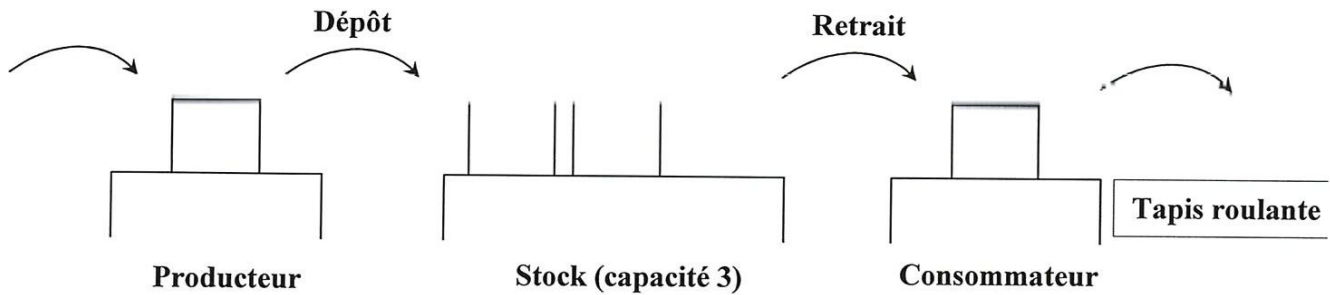


Figure 2.1: exemple d'un SED

2.2.2 Caractérisation des SED

Un SED est caractérisé par son comportement dynamique qui se traduit par changement d'état vers un autre état suite à l'occurrence d'un évènement peuvent être de deux types :

- i. **L'évènement de temps** : est un évènement uniquement déterminé par rapport à la variable temps, d'instant d'occurrence de l'évènement n'est pas a prisé connu ;
- ii. **L'évènement contrôlé** : dépend des conditions d'évènement du système et s'obtient par des règles, il définit sont un évènement d'état ou un évènement de commande ;

2.2.3 Modélisation de SED

2.2.3.1 Pourquoi modélisé ?

Un modèle est une approximation, une vue partielle plus ou moins abstraite de la réalité afin de l'appréhenda plus simplement, selon un point de vue et il établi pour un objectif donné.

2.2.3.2 Outils de modélisation

Nous présentons dans la suite quelques outils de modélisation des SED. Durant cette présentation, nous distinguons deux catégories de modèles pour les SED :

Les modèles logiques et les modèles temporisés

- **Les Modèles logiques**

Ces modèles permettant de représenter l'ordre logique d'occurrence des événements dans un SED. Ainsi, le temps est décrit implicitement dans une trajectoire et seul l'ordre d'occurrence des événements constituant une trajectoire est prise en considération.

Les modèles logiques sont utilisés pour l'étude des propriétés qualitative des SED.

Parmi ces modèles, nous trouvons les RDP.

2.2.3.3 Les Réseaux de pétri (RdP)

a) Introduction

Les modèles réseau de pétri a été introduit en 1964 C.A. Pétri. Il constitue un outil de modélisation de SED particulièrement adapté pour spécifier le comportement des systèmes industriels.

Il permet de modéliser et visualiser des primitives de comportement telles que la synchronisation, le parallélisme, le partage de ressources ou le séquençement.

Les RDP sont représentés autour d'un langage graphique et d'un langage mathématique.

Un RDP de présente sous la forme de places et de transition, reliées par des arcs.

b) Notion de base

b-1) Définition

Un réseau de pétri est un moyen de :

- Modélisations des comportements des systèmes dynamiques à événement discret.
- Description des relations existante entre des conditions et des événements.

b-2) Places, transitions et arcs

Un RDP comporte :

- i. Une place qui représenté par un cercle, il représente les ressources généralement noté par (P).
- ii. Une transition qui représenté par un trait, il représente les actions élémentaires du système généralement noté par (T).
- iii. Un arc relié :
 - Soit une place (P) à une transition (T)
 - Soit une transition (T) à une place (P)

Il est étiqueté par une valeur (ou un poids) qui est un nombre entier positif.

→ Si un arc (P_i, T_j) a un poids K (P_{rid}), la transition T_j n'est franchie que si la place P_i passe de au moins K jetons.

Le franchissement consiste à retirer K jetons de la place P_i

→ Si un arc (T_j, P_i) a un poids K le franchissement de T_j rajoute à la place P_i

→ Lorsque le poids n'est pas signalé, il est égal à « un ».

b-3) Structure d'un RDP

Un réseau de Pétri est un quadruplet

$$\mathbf{R} = \langle \mathbf{P}, \mathbf{T}, \mathbf{Pré}, \mathbf{Post} \rangle \quad (2.1)$$

Où :

\mathbf{P} : est un ensemble fini de places ;

\mathbf{T} : est un ensemble fini de transitions ;

$\mathbf{Pré} : \mathbf{P} \times \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{N}$ est l'application incidence avant (Places précédentes) ;

$\mathbf{Post} : \mathbf{T} \times \mathbf{P} \rightarrow \mathbf{N}$ est l'application incidence arrivé (places suivantes) ;

On utilise également la notion

$$\mathbf{C} = \mathbf{Post} - \mathbf{Pré} \quad (2.2)$$

Un arc relie une place \mathbf{P} à une transition \mathbf{T} si et seulement si

$\mathbf{Pré}(\mathbf{P}, \mathbf{T}) \neq 0$;

Un arc relie une transition \mathbf{T} à une place \mathbf{P} si et seulement si

Post (P,T) ≠ 0 ;

∀ x ∈ PUT, on définit le pré-ensemble.....par x[•] suivants :

$$\left. \begin{aligned} \bullet X &= \{y/y F_x\} \\ X^\bullet &= \{y/x F_y\} \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

∃ x ⊆ PUT, on note :

$$\left. \begin{aligned} \bullet X &= \mu_{x \in X} \bullet x \\ X^\bullet &= \mu_{x \in X} x^\bullet \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

c) **Marquage :**

Chaque place contient un nombre entier positif ou nul de marquage ou jeton.

Le marquage M définit l'état du système décrit par le réseau à un instant donné, est une vectrice colonne de dimension de nombre de place dans le réseau, le i^{ème} élément du vecteur correspond au nombre de Jetons continus dans la place P_i

Exemple

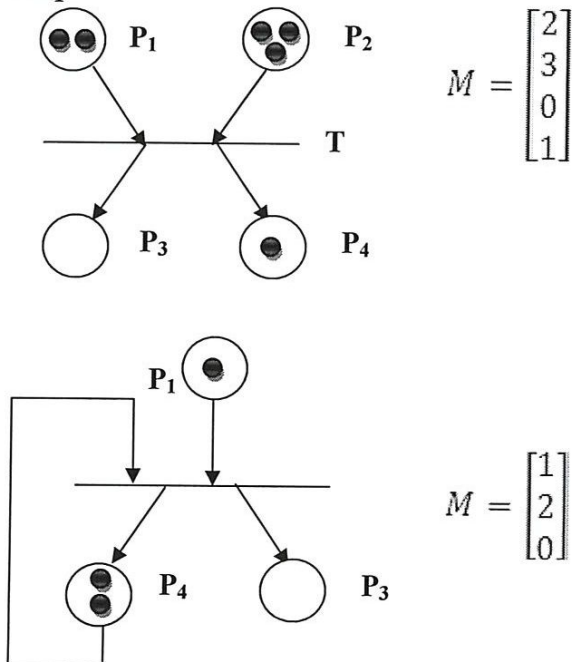


Fig.2.2 exemple d'un marquage des RdP

d) franchissement

- i. Une transition est franchissable ou sensibilisée lorsque chacun de ces places d'entrées possède au moins un moule de jetons égaux au poids de l'arc qui la relie à la transition.
- ii. Le réseau ne peut évoluer que par franchissement d'une seule transition à la fois celle-ci est choisie parmi toutes celles qui sont franchissables à cet instant
- iii. Le franchissement de la transition est phénomène instantané qui se traduit par les opérations invisibles suivantes :
 - on enlève de chaque place d'entrée un nombre de jetons égal au poids de l'arc qui la relie à la transition.
 - on ajoute à chaque place de sortie un nombre de jeton égal au poids de l'arc correspondant.
 - d'une façon plus formelle, une transition, est franchissable (validée par un marquage M) si et seulement si :

$$\forall P_i \in P_i \quad M(P_i) \geq \text{Pre}(P_i T_j)$$

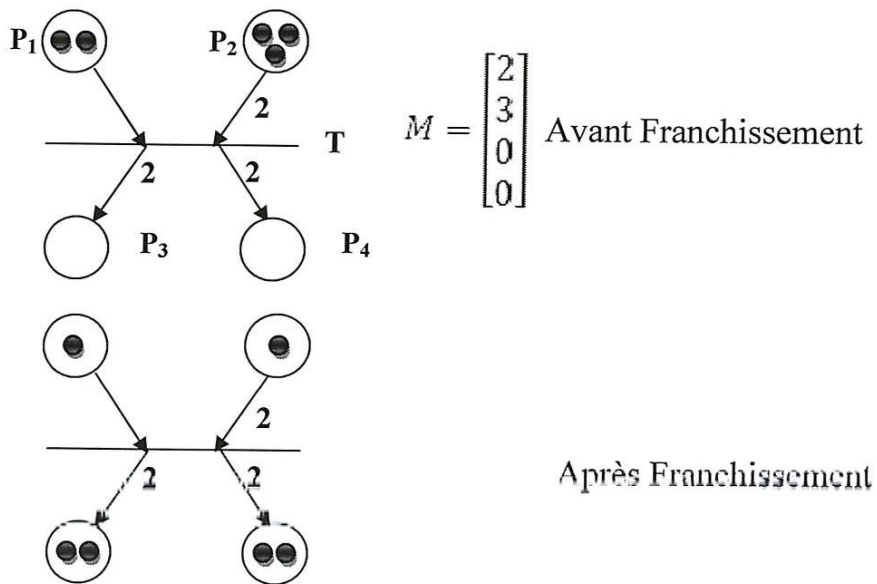
Comme la transition est franchissable, elle peut être tirée, entraînant alors les modifications suivantes :

Si le marquage avant le tir de T est M , son tir conduira donc au marquage M' , vérifiant :

$$M'(s) = \begin{cases} M(P) - W(P, T) \dots (1) \\ M(P) + W(T, P) \dots (2) \\ M(P) - W(P, T) + W(T, P) \dots (3) \\ M(P) \dots \dots (4) \end{cases}$$

- (1).....Si $P \in \bullet T - T \bullet$
- (2)Si $P \in T \bullet - \bullet T$
- (3).....Si $P \in \bullet T \wedge T \bullet$
- (4) Autrement

Exemple :



(Fig 2.3) Description de la règle de franchissement de T

e) Méthode d'analyse :

On distingue deux méthodes d'analyse :

- graphe de marquage
- équation d'état

La première méthode consiste à construire le graphe de tous les marquages du réseau. On déduit les propriétés grâce aux techniques de la théorie de graphe.

La deuxième méthode consiste à trouver une représentation de matrice du réseau, et on utilise les techniques de l'algèbre linéaire pour obtenir les propriétés du réseau.

e1) Graphe de marquage :

L'une des méthodes, les plus importantes pour l'étude et l'analyse des propriétés des RDP est l'utilisation du graphe des marquages accessibles. Cet outil permet de générer la totalité des états atteignables à partir de l'état initial, ainsi que les séquences de franchissement nécessaires pour atteindre chaque état.

Les règles de franchissement matérialisent une relation d'accessibilité sur l'ensemble des marquages atteignables du réseau.

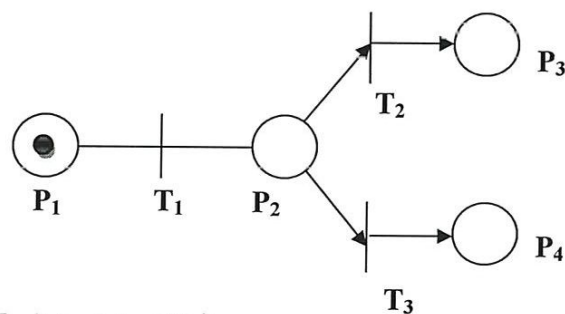
i. Le graphe des marquages accessibles, noté $M_0^a(N, M_0)$ est

L'ensemble des marquages M_i qui peuvent être obtenus par le franchissement d'une transition A à partir de marquage initial M_0

$$M_0^a = \sum M_i$$

$$Tq : M_i [S \rightarrow M_j]$$

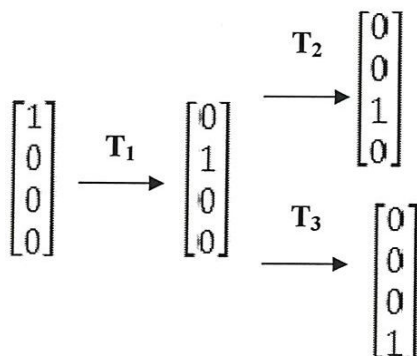
Exemple



(a)

$M_0 = \{M_0, M_1, M_2, M_3\}$ avec :

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad M_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad M_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad M_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$



(b)

Fig. 2.4) Graphe Fini
(a) Graphe de marquage
(b) Graphe de marquage accessible

e2) Équation d'état

Il est possible d'analyser le réseau de pétri en se basant sur la représentation matricielle du réseau

Du réseau (N, M) , on définit W et W^+ , deux matrices de n ligne et m colonne, de manière suivante :

- On appelle matrice pré condition « pré » la matrice de dimension (n, m) à coefficients dans N

Où

n est le nombre de places, m est le nombre de transition défini par :
 $\text{pré}(i, j)$ matrice d'entrée $E(P_i, T_j)$;

$$E(P_i, T_j) = W^-(P_i, T_j) = \begin{cases} +1 & \text{si } P_i \text{ est une place d'entrée de } T_j \\ 0 & \text{si non} \end{cases} \quad (2.8)$$

- On appelle matrice post condition « post » la matrice de dimension (n, m) à coefficients dans N

Où :

n est le nombre de places, m est le nombre de transitions défini par :
 $\text{post}(i, j) =$ matrice de sortie $S(P_i, T_j)$;

$$S(P_i, T_j) = W^+(P_i, T_j) = \begin{cases} +1 & \text{si } P_i \text{ est une place de sortie de } T_j \\ 0 & \text{si non} \end{cases} \quad (2.9)$$

- $\text{pré}(i, j)$ Indique le nombre de marquage qui doit contenir la place P_i pour que la transition T_j soit franchissable.
- De façon duale $\text{post}(i, j)$ contient le nombre de marques déposées dans la place P_i à la suite du franchissement de la transition T_j .

- Un marquage M sera alors représenté par un vecteur de dimension n à coefficients dans \mathbb{N} .
- On obtient ainsi un vecteur V appelé vecteur validation défini par la relation suivante :

$$V(t) \begin{cases} +1 \text{ si } T_j \text{ est une transition validée par marquage } M \\ 0 \text{ si non} \end{cases}$$

(2.10)

- Et le résultat du franchissement de la transition T_j dans le marquage M s'il est franchissable, est :

$$\begin{aligned} M' &= M_0 - \text{pré}(i,j) \cdot V(T_j) + \text{post}(i,j) \cdot V(T_j) \\ &= M_0 + (\text{post}(i,j) - \text{pré}(i,j)) \cdot V(T_j) \\ &= M_0 + C \cdot V(T_j) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Ou $C = \text{post}(i,j) - \text{pré}(i,j) = C^+ - C^-$

- Pour une séquence du franchissement des transitions $S = T_1 T_2 \dots T_k$

$$\begin{aligned} M' &= M_0 + C \cdot V(T_1) + C \cdot V(T_2) + \dots + C \cdot V(T_k) \\ &= M_0 + C(V(T_1) + V(T_2) + \dots + V(T_k)) \\ &= M_0 + C \cdot F(S) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Le vecteur $F(S) = V(T_1) + V(T_2) + \dots + V(T_k)$, s'appelle le vecteur Parikh de la Séquence, $T_1 T_2 \dots T_k$.

L'élément T de ce vecteur est le nombre de transition T franchies dans la séquence, $S = T_1 T_2 \dots T_k$

Cette approche nous donne un outil pour étudier le problème d'accessibilité.

Si un marquage M' est accessible à partir d'un marquage M_0 , donc il existe une séquence S du franchissement de transition qui se produit à M' ;

C'est à dire $F(S)$ est une solution entière non négative pour x dans l'équation de matrice :

$$M(k + 1) = M(k) + C \cdot x(k) \quad (2.13)$$

Donc si M' est accessible à partir de M_0 , l'équation a une solution entière non négative

Si cette équation n'a pas de solution, donc $M(k + 1)$ n'est pas accessible à partir de $M(k)$

Les réseaux de pétri exhibent deux grandes classe de propriétés :

- i. les propriétés structurelles
- ii. les propriétés dynamiques

Les propriétés structurelles sont indépendantes du marquage initial et sont liées à la topologie du réseau.

Leur analyse repose essentiellement sur les techniques d'algèbre linéaire

Quant aux propriétés dynamiques, elles dépendent du marquage initial et son liées à l'évolution de ce dernier.

Leur vérification nécessite bien souvent la construction du graphe des marquages accessibles.

Elle permet d'apporter de réponses aux questions concernant l'accessibilité d'un marquage particulier, la vivacité etc.....

Exemple :

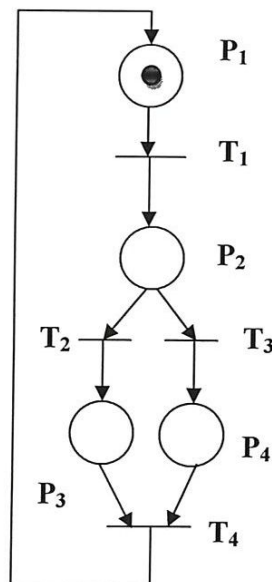


Fig. (2 .4) Exemple d'une équation d'état

$$S = T_1 T_3$$

$$S = [1 \ 0 \ 1 \ 0]$$

$$C = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$W \begin{matrix} T_1 & T_2 & T_3 \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{matrix}$$

$$W \begin{matrix} T_1 & T_2 & T_3 \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{matrix}$$

$$M_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$M'_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

3.2.3.4. RdP temporisés

Dans les automatismes industriels décrits par la rdp, le franchissement dépend généralement du temps, par exemple dans un système de production ou d'assemblage, toutes les opérations demandant un certain délai de réalisation ainsi, nous pouvons recenser les modèles ou les temporisations sont associées :

- Aux transitions ;
- Aux places ;
- Aux arcs ;

Le paramètre « temps » a été introduit de différentes manières dans les modèles basés sur les rdp.

Ramchanduni,⁷⁴ fut le premier à introduire les Rdp temporisés selon les besoins se l'interprétation, le « temps » est associé soit aux places, soit aux transitions du rdp on l'appellera respectivement Rdp P-temporisé ou Rdp P-temporisé

Si une place représente une action en cours, la temporisation associée à cette place rend compte de la durée de l'action correspondante, les rdp temporisés sont essentiellement utilisés pour l'évaluation des performances des systèmes de production, telles que le délai de réalisation, les temps de cycle, les temps d'oisiveté des machines...

a) Fonctionnement d'un RDP temporisé :

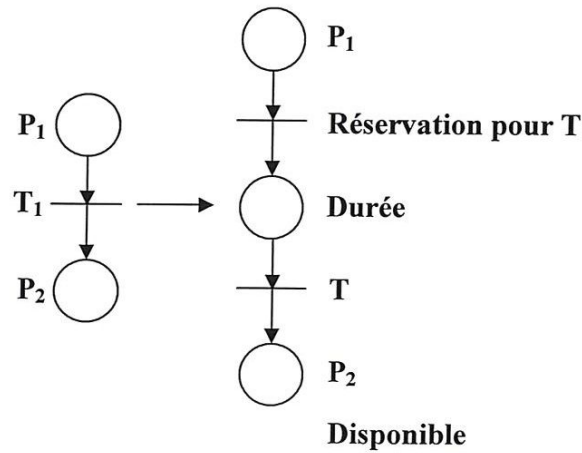
A chaque place P_i est associée une temporisation D_i , qui peut être constante ou variable, positive ou nul. Dans un rdp classique non temporisé, lorsqu'un jeton arrive dans une place P_i , en amont d'une transition T_j . Cette dernière est validée et devient aussitôt franchissable.

Dans un rdp P-temporisé, le jeton doit s'arrêter dans la place P_i au moins pendant un temps D_i , D_i représente le temps pendant lequel le jeton est indisponible, la transition est validée mais non franchissable.

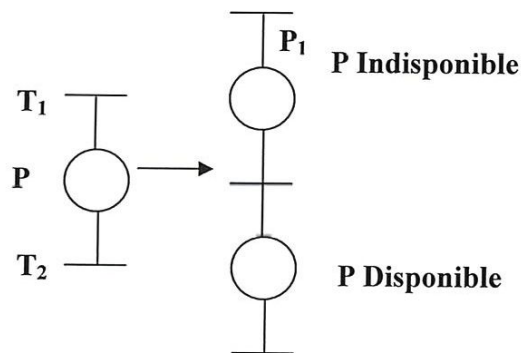
Lorsque D_i est écoulée, le jeton devient disponible et la transition est franchie

b) Fonctionnement d'un RDP T-temporisé

Dans ce type de rdp, les temporisations sont associées aux transitions, dans l'exemple suivant : nous allons montrer l'équivalence entre les rdp T-temporisés et les RDP P-temporisés



a) Temps associé à une transition



b) Temps associé à une transition

**Fig.2.5 transformation équivalente des RDP T-temporisés
RDP P-temporisés**

Nous pouvons alors relever deux interprétations possibles concernant le franchissement proprement dit de la transition T

- durée de tri, pour laquelle une fois le tri initié, le ou les jetons créés n'apparaissent dans (T') sont alors « gelés » dans la transition T, et le ou les jetons créés n'apparaissent dans T' que D_T unités de temps plus tard
- durée d'indisponibilité, pour laquelle une fois que la transition T est franchie. Le franchissement est instantané donc cette opération ne consomme pas de temps, le ou les jetons créés sont alors « gelés » dans les places éléments de T pendant D_T unités de temps.

Quand les jetons sont gelés, ils ne peuvent pas participer à la validation des transitions dont ils appartiennent aux places d'entrée

On peut remarque que :

Le passage assez facile du modèle T-temporisé au modèle P- temporisé permet l'utilisation de tous les calculs et les définitions précédentes sans de peine

La définition du rdp précise que le franchissement d'une transition est instantané, le modèle rdp P-temporisé serait donc le plut proche du concept de base

Dans un rdp temporisé, le temps associé à une place ou une transition, spécifie un temps minimal de séjour d'un jeton dans une place qui peut représenter le temps minimum d'exécution d'une opération.

Donc, les rdp temporisés permettent de spécifier les contraintes de temps minimum. Mais ils ne sont pas capables de modéliser leur systèmes dans les quels les opérations de traitements ont des durés comprises entre un maximum et minimum, comme le cas de traitement de surface.

b.8 RdP temporels

Il existe deux formes de RDP temporels :

- les RDP T-temporels qui associent un intervalle temporel de sensibilisation aux transitions et une horloge globale au rdp.
- Ces modèles sont principalement utilisés pour l'étude des systèmes de télécommunication ou pour modéliser l'interface entre le modèle continu et le modèle discret lors de la modélisation des systèmes batch

Un rdp T- temporel est un doublet (R, Is) tel que :

R est un rdp

$T_i \rightarrow Is(T_i) = [a_i, b_i]$ avec $0 \leq a_i \leq b_i$;

Is : est une fonction d'intervalle statique, qui associe à chaque transition un intervalle statique, à bonne rationnelles de tri. T ne peut être franchie qu'entre a_i et b_i . La transition doit nécessairement être franchie si elle est sensibilisée pendant b_i

- Les rdp P-temporels qui associent un intervalle de temps aux places spécifiant les durées de séjour des marques dans les places

Un rdp P-temporel est un doublet (R, Is) tel que :

R est un muni d'un marquage initial M_0

Is est une fonction d'intervalle statique, qui fait correspondre à chaque place

Un intervalle fermé de temps de séjour, tel que $Is(T_i) = [a_i, b_i]$ avec $0 \leq a_i \leq b_i$;

L'état d'un rdp temporel est donc défini par le marquage courant et par le marquage courant et par la valeur des horloges associées aux transitions sensibilisées.

Il ya deux types de changements d'états.

Le premier est lié à l'écoulement du temps T lorsqu'aucun franchissement n'est validé. Dans ce cas, il faut ajouter T a chacune des horloges associées aux transitions sensibilisées.

Le deuxième type de changement d'état correspond au franchissement d'une transition. Comme le franchissement est instantané, le temps n'évolue pas.

A temps constant, nous modifions le marquage en construisant une nouvelle liste des transitions.

Pour les transitions étaient sensibilisées avant le franchissement, nous laissons les valeurs de l'horloge inchangée. Pour chaque transition nouvellement sensibilisée, nous initialisons son horloge à la valeur du temps courant

De manière générale, l'analyse des rdp temporels est fondée sur la notion de classes d'état qui regroupe tous les états ayant le même marquage et n'étant différent que pour la valeur des horloges associées aux transitions sensibilisées. Tous les états regroupés dans une classe doivent être tels que l'évolution future du rdp temporel et la même.

Exemple

Considérons par exemple la figure 2-1, on définit le RDP comme suivant :

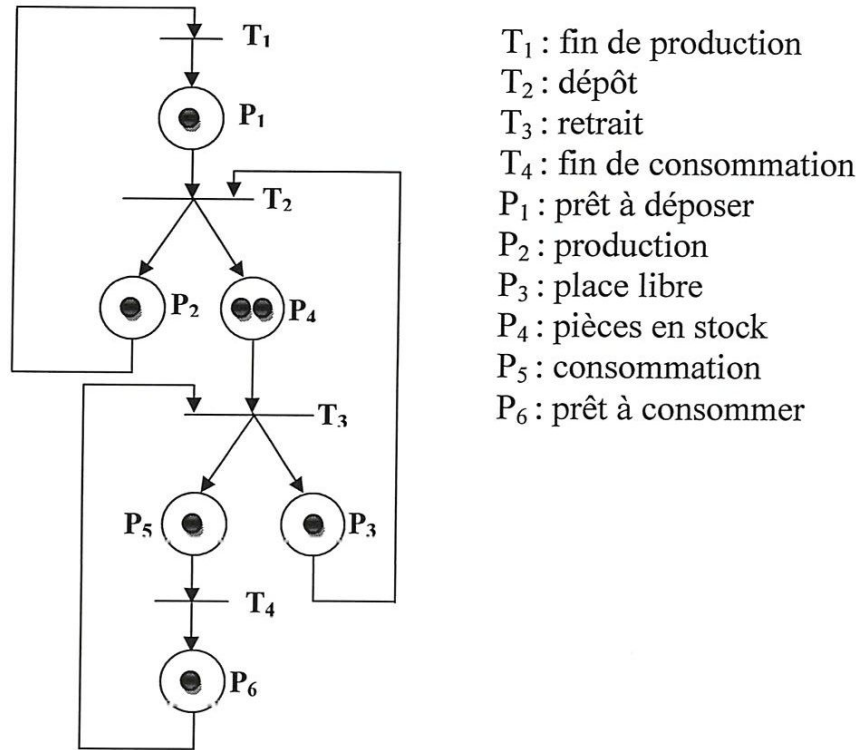


Fig. 2.5 Exemple d'un RDP

Il ya trois invariants de marquage :

Le premier invariant est $m_1+m_2=1$ dont la signification est que le producteur à deux états possibles :

- État de « production » d'une part.
- État de « Prêt à déposer » d'autre part.

Le deuxième invariant est $m_5+m_6=1$ correspondant aux deux états possibles du consommateur.

Le troisième invariant est $m_3+m_4=3$, qui correspond à la capacité du stock.

$$P = \{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6\};$$

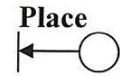
$$T = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6\};$$

On rappelle que :

Un pré relie une place à une transition.

Une post relie une transition à une place.

D'après la (fig.2.5)



$$pre = \begin{array}{cccc|c} T_1 & T_2 & T_3 & T_4 & \\ \hline 0 & 1 & 0 & 0 & P_1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & P_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & P_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & P_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & P_5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & P_6 \end{array}$$

$$post = \begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 0 & 0 & P_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & P_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & P_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & P_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & P_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & P_6 \end{array}$$

$$C = \begin{array}{cccc|c} 1 & -1 & 0 & 0 & P_1 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & P_2 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & P_3 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & P_4 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & P_5 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & P_6 \end{array}$$

Et le marquage initial est $M = \begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ 1 \\ -2 \\ 1 \\ 0 \end{array} \begin{array}{l} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{array}$

Conclusion

Ce chapitre est déterminé de façon générale la modélisation des systèmes à événements discrets leur type et différentes méthodes. Dans un premier temps nous décrivons la définition des SED illustré par un exemple en suite la modélisation des SED, les différents outils de modélisation ;

Dans un deuxième titre nous définissons les RDP leur principe et domaine d'étatisation en site aussi les modèles des RDP temporisés

Dans le chapitre suivant nous nous concernons sur quelques concernant le diagnostic de panne de SED

Chapitre 3 : Diagnostics des SED

Résumé : Ce chapitre est consacré sur le diagnostic de SED, il concept deux volte :

Dans un premier temps, une classification des méthodes de diagnostic, pris nous concertions sur la classe des méthodologies à base de modèle dont la problématique de FDI étudier le diagnostic des défaillances de type place et de type transition.

Dans ses approches, deux étapes principales sont considérées : le développement du modèle et la construction du diagnostiquer. Ce dernier est basé sur un principe de séparation entre la fonction la 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.

3.1 Introduction

Sous l'appellation système (dynamique) à événements discret (SED) sa regroupés les systèmes dont le comportement dynamique ne peut être décrit par des équations différentielles ou aux différences. Cette classe de système regroupe aussi bien les systèmes de production (ateliers flexibles, lignes d'assemblage, les réseaux de communication (réseaux d'information) que les systèmes de transports (ferroviaire ou aérien).

La diversité de ces systèmes conduit naturellement à différents modèles. Notre étude se situe dans le contexte des systèmes qui admettent un modèle décrit par un rdp ;

Nous concentrons sur quelques approches concernant le diagnostic de pannes des SED.

Un grand nombre de travaux orientés vers d'autres domaines d'application les systèmes informatiques (périphériques d'un pc), les systèmes de communications, la gestion des trafics (autoroutes, trains) ; les systèmes de gestion de bases de données, etc, utilisent d'autres modèles (logique linéaire, FSM)

3.2 Cadre général du diagnostic des SED

Nous présentons dans cette section le cadre général du diagnostic des SED. Nous introduisons d'abord la classe des SED ainsi que les outils permettant sa modélisation. Ensuite, nous présentons le contexte général du diagnostic pour cette classe de systèmes

3.2.1 Les méthodes de diagnostic des SED

La notion de diagnostic des SED a été introduite au milieu des années 1990 dans les travaux de sampath (Sampath et al., 1995, 1996).

Dans la suite, nous présentons les méthodes de diagnostic de SED les plus pertinentes pour la compréhension de notre travail. Nous considérons une classification des méthodes de diagnostic de SED basée sur la nature du modèle. En effet, nous pouvons distinguer deux catégories de méthodes

- _ les méthodes basées sur des modèles logiques ;
- _ les méthodes basées sur des modèles temporisés.

Les méthodes à base de modèles logiques consistent à élaborer le diagnostic du système à partir d'un modèle logique du SED. Ainsi, le temps sera considéré uniquement d'une manière qualitative à travers l'ordre d'occurrence des événements. Le diagnostic résultant considérera le temps, de même, d'un point de vue qualitatif.

Les méthodes à base de modèles temporisés consistent à élaborer le diagnostic du système à partir d'un modèle temporisé du SED. Ainsi, l'aspect temporel sera considéré d'une manière explicite et quantitative, à travers l'utilisation d'horloges internes

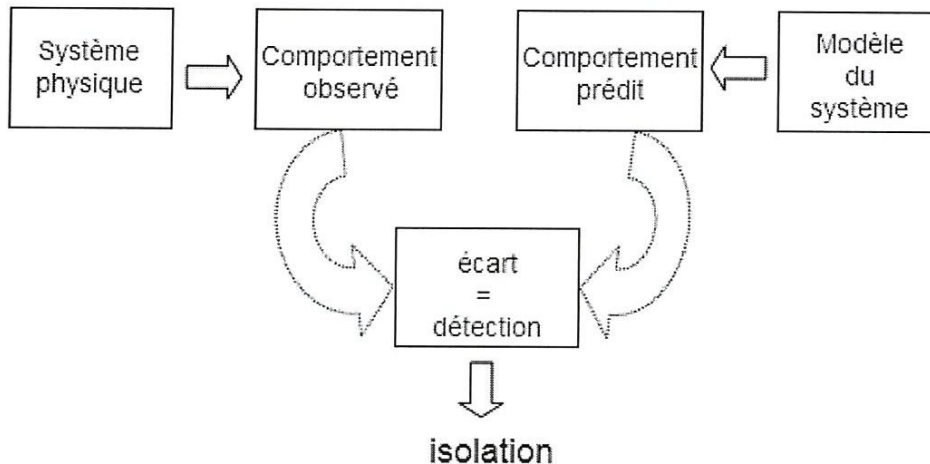


Fig. 2.4 – Principe des méthodes de diagnostic avec modèles.

3.2.2. Concepts liés à la surveillance

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

Les défaillances peuvent être caractérisées 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.).
- ❖ 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 avalées, ou évolution erronée sur une séquence incorrecte suite à une panne de capteur, ou erreur de commande)

Les techniques de surveillance proposées actuellement reposent sur l'intégration d'un nouveau modèle pour assurer la tâche de diagnostic.

Cette technique est communément appelée « superviseur ou diagnostiquer » dans la littérature. Le modèle global décrit le procédé et son superviseur. Il ne s'agit pas de deux vues complémentaires d'un même système, mais plutôt de deux modèles différents. L'interface traduit les informations échangées entre les deux parties : les observations du procédé sont traitées et interprétées par le superviseur.

Le résultat est transmis à la partie décision.

La conception d'un module de surveillance comporte deux étapes principales : le développement du modèle SED du système à diagnostiquer et la construction du diagnostiqueur. Ce découpage se trouve dans les différentes approches dites "séparées" basées sur les réseaux de pétri ou sur la machine à états finis.

3.2.3. Conception d'un diagnostiqueur

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

1. Analyser la propriété de diagnosticabilité du système
2. Analyser les modes fonctionnement du système
3. Exécuter le diagnostic des défaillances en ligne à partir des observations issues du système.

Le superviseur 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).

Ainsi, la détectabilité d'une défaillance est liée à l'information disponible sur le comportement du système : c'est à notion d'observabilité. Comme un SED est caractérisé par des événements qui sont répertoriés en événements contrôlables représentant les actions par exemple : ouvrir une vanne, démarrer une machine, envoyer une donnée... et des événements non contrôlables tels que événements envoyés par le procédé, comme réponse à l'exécution d'une commande par exemple : fin de traitement, vanne fermée ... ou l'événement associé à une panne d'une machine, on est amené à définir, dans un premier temps, les notions qui permettent l'interprétation et l'identification de l'élément défaillant.

3.2.4. Notion d'observabilité et contrôlabilité des SED

Le concept de contrôlabilités est associé au concept dual d'observabilité. Il est possible qu'un SED puisse contenir certaines transitions d'état à état qui ne peuvent pas être détectées par le système de surveillance. La représentation mathématique de ces événements inobservable est identique aux transitions incontrôlables.

Quelque définition

- Une transition est dite incontrôlable si le franchissement de cette transition ne peut être empêché par une action externe. Le franchissement d'une transition incontrôlable ne dépend que de la structure et l'état du procédé.
- Une transition est dite inobservable si les franchissements de cette transition ne peuvent pas être détectés ou mesurés. Puisque le tir d'une transition inobservable ne peut pas être détecté, le changement d'état du contrôleur ne peut pas être déclenché par un tel franchissement.
- Un réseau de pétri est complètement contrôlable si n'importe quel marquage est accessible à partir d'un autre marquage.
- Si un réseau de pétri de m places est complètement contrôlable, alors on a :
 $\text{rang } C = m$ Ou C : est la matrice d'incidence

3.2.5. Notion de diagnosticabilité

La diagnosticabilité (découplage) caractérise la détection. On parle de diagnosticabilité s'il est possible de détecter, dans un délai fini et très court, l'occurrence de n'importe quel type de défauts en utilisant l'historique des événements observés. En d'autres termes, la diagnosticabilité exige que chaque défaut conduise à des observations suffisamment distinctes pour permettre l'identification 'unique' du type de défaut.

- i. Un défaut f est diagnosticable si et seulement si à partir des observations issues du système, il est possible d'extraire ses caractéristiques
- ii. Un système est diagnosticable si et seulement si chaque événement de défaut est diagnosticable

Avec le concept d'observabilité et diagnosticabilité, nous pouvons aboutir à une identification du défaut plus précise. Si un système est

complètement observable et diagnosticable alors les transitions et les marquages peuvent être mesurés et l'application d'une défaillance sera facilement identifiée par la procédure de surveillance.

3.2.5 Surveillances des SED

La surveillance est une entrée 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 système 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 un état compatible avec le fonctionnement désiré par l'utilisation. 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 des 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 (fig.3.3.a)

Pour remédier à certaines difficultés rencontrées lors du diagnostic, il faut avoir le tracé hystérique de l'évolution du RdP au cours du temps.

La mise en œuvre d'un système de diagnostic se heurte à l'énumération exhaustive des liens de cause à effets entre symptômes et défaillances. La cause réelle de défaillance ne peut pas toujours être identifiée précisément et sans ambiguïté.

Ce problème peut être illustré par le RdP de la (fig.3.3b)

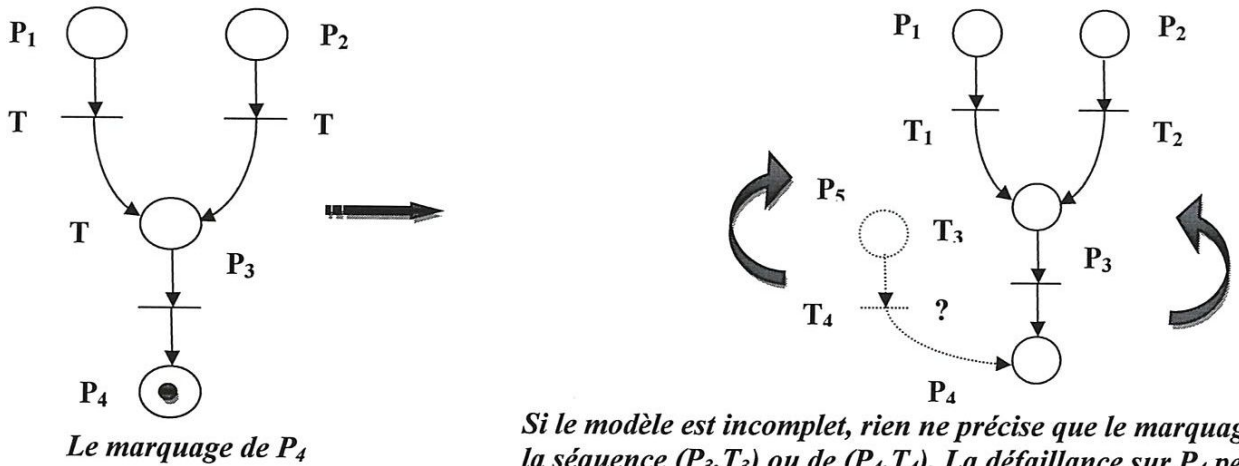
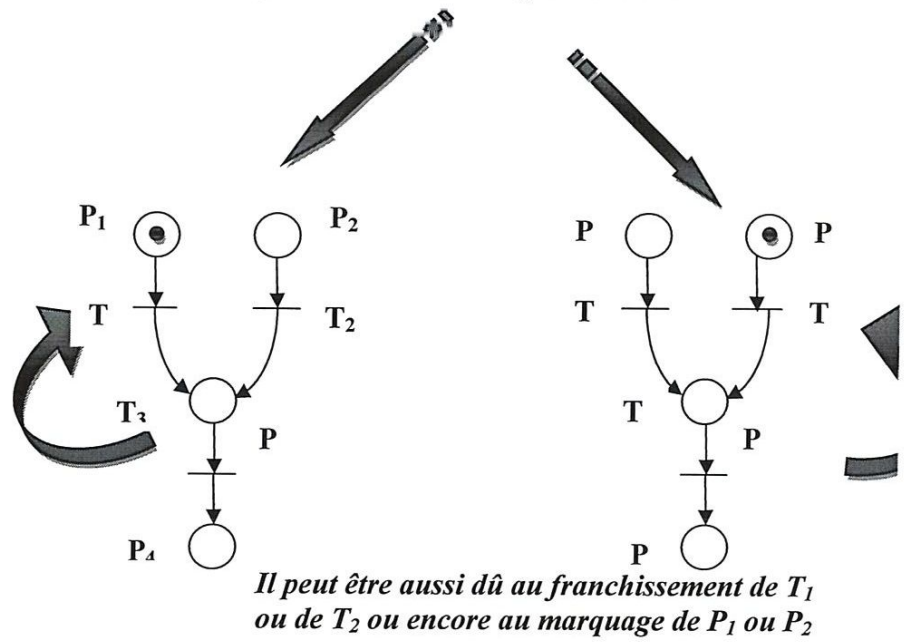
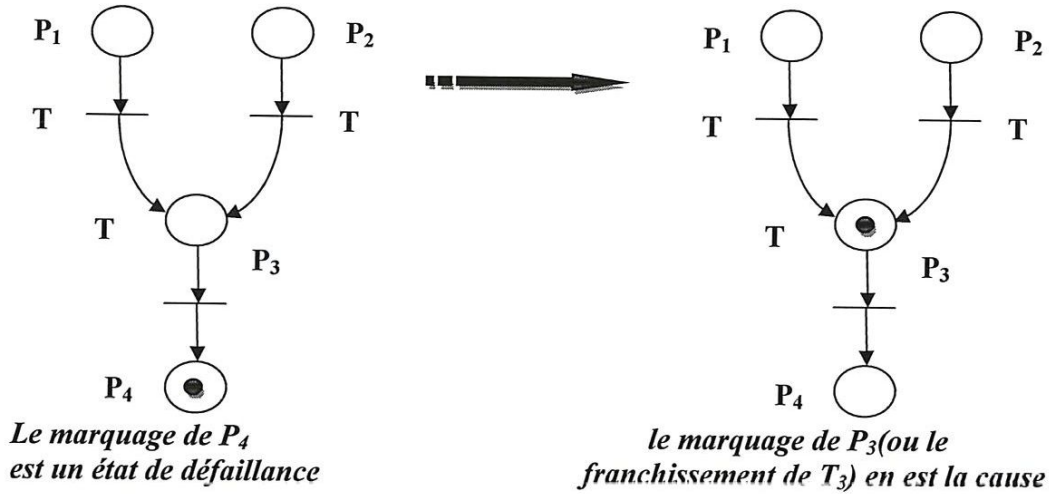


Figure 4.2 (a) Nom unicité des défauts
(b) incomplétude de l'ensemble des défaillances

3.2.7. Modes de défaillances

Ce pendant, dans le contexte de la surveillance des SED, nous ne trouvons presque jamais une caractérisation précise des différents défauts ou perturbation. A contrario, la théorie existante sur la surveillance se limite souvent au problème de type place ou de type transition sans aucune définition préalable de défaillance. Donc il est préférable de préciser cette notion en SED.

Ainsi, une défaillance peut être définie comme un événement 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'évènement s'ajoute tous les phénomènes de perturbations qui surgissent sur le système comme des événements indésirables et dont le système de surveillance doit être insensible.

Dans la littérature, plusieurs classifications ont été proposées :

a) 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. Ce phénomène peut s'expliquer, par exemple, par l'obtention d'une image biaisée du processus induit par une dérive de capteur.

b) Transitions 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 vivacité d'une condition ou l'occurrence d'un événement

c) Action erroné

Ce mode de défaillance est révélateur d'un 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'un des conditions nécessaires à sa réalisation n'était pas bon ou l'un des pré-coéditions était faux (propagation des défaillances).

Les conditions et pré condition concernent les éléments du procédé : produits, outils, moyens de transport (fig 3.4a) ce type de défauts affecte l'exécution d'une transition en termes d'évolution d'état dans l'équation (2.13), une défaillance sur la transition T_j correspond à une anomalie de son franchissement, c'est-à-dire à ses pré-condition données par la $j^{\text{ème}}$

colonne de $C^-: C^-(:,j)$ ou à ses post-condition données par $C^+(:,j)$ qui n'ont pas d'effets.

- Si une activité n'a pas encore été lancée/ n'a pas été acquitté car toutes ces pré-condition/ post-conditions ne sont pas vraies (fig3.4.b). ce type de défaut altère le nombre de marques ou de jetons dans une seule place du RdP. Dans l'équation (2.18), 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 nombre de places défectueuses, indépendamment du nombre de marques incorrects dans chaque place défectueuse.

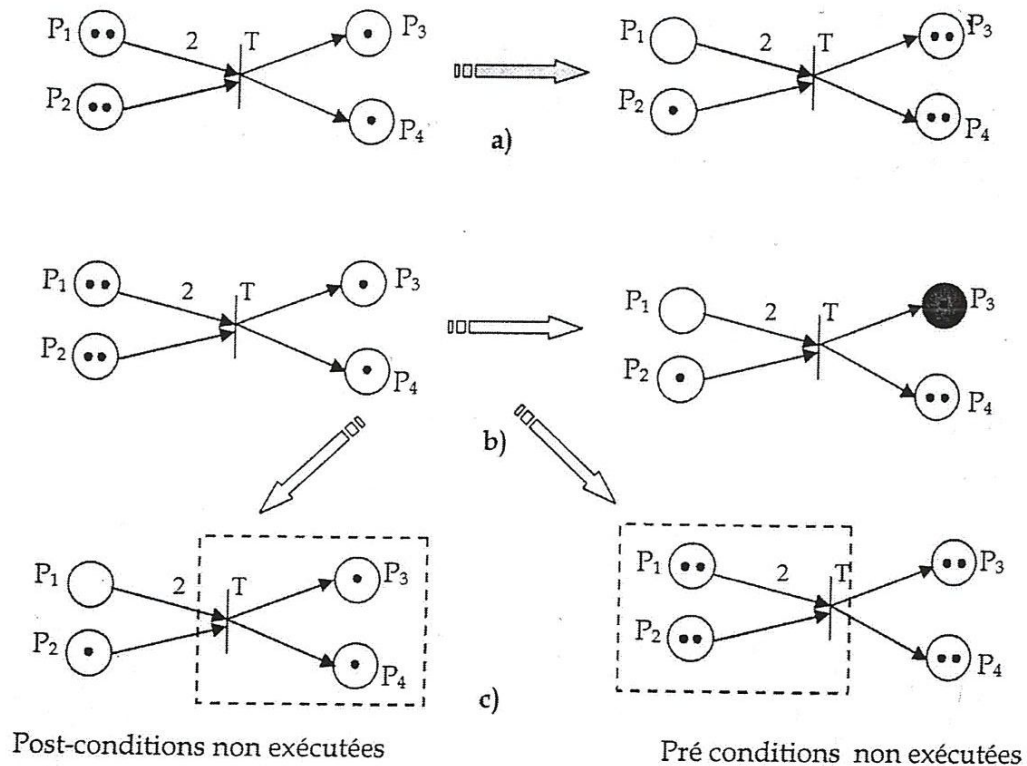


Figure 4.3 Représentation des défaillances dans les RdP
a) Fonctionnement normal
b) Défaillance de type place ; c) Défaillance de type transition

d) Modèles de défauts additifs

Les modèles de défauts additifs sont basé l'énumération explicite de tous les défauts que nous voudrions pouvoir détecter ou éviter. Le défaut est alors modélisé par son effet additif sur le vecteur d'état du RdP. En particulier, si les défauts a lieu à l'instant k, alors

$$q_f(k) = q(k) + f(i) \quad (3.1)$$

Ou

$q_f(k)$ est l'état défectueux du RdP et $f(i)$ est l'effet additif du défaut

La matrice de défaut est alors définie par :

$$E = [f(1) \ f(2) \ \dots \ f(I)] \quad (3.2)$$

Ou I est le nombre total des différentes défaillances prévues.

Le modèle de défauts additif représentant toutes les défaillances de type place et transition comporte :

- La défaillance de pré-condition sur la transition T_j . Celle-ci est représentée par le vecteur de défaut $f_{T(j)}^- = C^- (:,j)$. De même, l'effet additif de la défaillance de post-condition sur T_j est désigné par le vecteur erreur $f_{T(j)}^+ = -C^+ (:,j)$
- La corruption du nombre de jetons dans une place P_i , cette défaillance est représentée par $f_{P(i)=h, [0 \dots 1 \dots 0]}^T$

Ou : h est un nombre entier qui dénote le nombre de marques qui été ajoutées à la place i correspondant à la $i^{\text{ème}}$ composant du vecteur non nulle. Le modèle de défaut additif peut aussi désigner les défaillances multiples indépendantes. Par exemple, une défaillance de pré-condition sur T_j et une défaillance indépendante sur P_i se répercutera dans les vecteurs de défauts

$(f_{T(j)}^- + f_{P(i)}^T)$ clairement, un défaut de pré-condition (post-condition) sur une transition qui possède n_T d'entrée (sortie) peut également être traité comme combinaison de n_T défauts de type place.

Afin que l'algorithme d'identification de défaut puisse résoudre de tels conflits, nous visons à déterminer le nombre minimum de défauts transition et/ ou places qui expliquent le comportement observé dans le RdP l'idée fondamentale dans cette formulation est de permettre une identification plus rapide des défaut les plus fréquents (cas ou tout les défauts transition et /ou places sont également probables et indépendants).

3.2.8. Perturbations

Les perturbations à prendre en compte incluent les fluctuations de l'arrivée des pièces dans l'atelier, les incertitudes sur la durée des transitions liées à la présence d'opérateurs humains, les changements de lots, ou même l'insertion d'un produit particulier dans la production courante. Quant aux performances fondamentales, elles sont fonction des objectifs de production allant de la conservation d'un taux de production constant, jusqu'à des durées opératoires invariantes afin d'assurer une production homogène.

Ainsi, les perturbations sont communément classées en deux catégories : les perturbations internes et les perturbations externes.

Les perturbations internes : comme des variations de durées opératoires Suite à une action corrective d'un opérateur humain, le vieillissement du procédé, l'indisponibilité momentanée d'une ressource due à une maintenance préventive ou à une panne,...

Les perturbations externes : comme une variation sur l'instant d'introduction d'une nouvelle pièce sur la ligne de production, une modification du taux de production prévu ou changement du type de pièce produite.... Un atelier est rarement, et par conséquent soumis aux perturbations de son environnement.

Dans le cas particulier d'un atelier multi produits, ces perturbations peuvent être :

- Dues aux fluctuations de l'entrée des produits, et des changements de type de pièces ; les perturbations externes
- Liées aux différences des temps de traitement d'un type de pièces à un autre ; perturbations internes

3.2.9. Surveillance à base de modèle

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

Les modèles internes : systèmes basés sur un modèle 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 ajoutes.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 normaux n'est nécessaire. Les modèles en filtre, les modèles en émulation et les modèles comportementaux peuvent être utilisés

- ❖ Modèle en filtre : le modèle du procédé est positionné en filtre être la commande et le procédé, son rôle consiste à valider les commandes émies en fonction des commandes attendues,
- ❖ Modèle en émulation : le modèle du procédé imite le comportement du procédé et compare les signaux émis. Cet émulateur comporte un modèle des évolutions du procédé et capable, en fonction des requêtes envoyées par la commande, de prévoir les intervalles de temps pendant lesquels des comptes rendus devront impérativement être émis par le procédé.
- ❖ Modèle en référence : dont la présence sert de consultant avant la transmission d'une commande quelconque vers le procédé. Les RdP ont permis d'élaborer des modèles de références pour l'analyse des séquences non temporelles. Dans certains travaux, des modèles de référence par RdP temporels(RdPT) et RdP continu à vitesse variable(RdPCV), ont été mis en œuvre.

Une signature caractéristique de chaque élément est déterminée. Lorsque cela est nécessaire, le modèle de référence est complété ou remplacé par un ensemble de données de terrain, qui servent à construire des réseaux de détection et de localisation. Les régions de fonctionnement et de défaillance apparaissent distinctement dans l'espace des paramètres mesurés.

Dans ce qui suit nous présentons deux des principales approches existantes pour le diagnostic des systèmes de production.

3.3. Méthode fondée sur les RdP temporisées

Le principe de la détection est tout simplement fondé sur les possibilités de franchissement des transitions, il s'agit de construire un RdP qui permet de surveiller les contraintes de séquences. Le temps peut être associé aux places (réseaux de pétri P-temporisé) comme il est aussi possible d'utiliser des réseaux de pétri T-temporisés

Pour lesquelles durées sont associée aux transitions. Dans ce modèle, on suppose que le franchissement des transitions n'est pas instantané mais

qu'il consomme du temps. Ces deux approches sont en fait totalement équivalentes

Par contre, les RdP temporels sont plus généraux. Ils associent une borne inférieure et une borne supérieure à la durée pendant laquelle une transition reste franchissable sans être effectivement franchie.

Cette durée est celle pendant laquelle l'évènement associé doit être attendu. La notion de durée maximale d'attente est importante car elle correspond en fait au mécanisme classique du chien de garde. Cette solution consiste à temporiser chaque opération du graphe de commande, elle permet d'introduire une durée de sensibilisation $\theta_s(t)$. la différence vis-à-vis de la durée de franchissement est que pendant toute cette durée, les jetons sont disponibles dans les places d'entrée de T et peuvent éventuellement être utilisés par une transition en conflit avec T. cette temporisation, égale à la valeur du chien de garde, nécessite les connaissances de la durée maximale de chaque opération

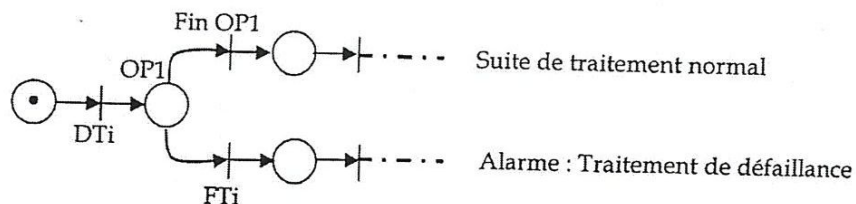


Figure 4.4 Technique du chien de garde

L'utilisation de la technique de chien de garde est un mécanisme simple, permettant de détecter facilement les comptes-rendus absents. Mais cette technique présente cependant de nombreux inconvénients

- Elle est contraire aux principes du génie automatique
- Elle nécessite l'ajout de nombreux capteurs dédiés à la surveillance

80% des défaillances sont dues aux capteurs, cela signifie que si l'on gagne en sécurité, on perd énormément en disponibilité.

- Elle ne permet pas de détecter les comptes-rendus intempestifs

3.4. Méthode De La Surveillance Séparée Des Sed

Dans ce paragraphe, on présente une méthodologie systématique pour fournir des possibilités de surveillance aux réseaux de pétri donné. Cette approche, comme on l'a déjà mentionné auparavant, consiste à

incorporer le RdP originale d'une manière qui préserve l'état, l'évolution et les propriétés des réseaux de pétri originale sous une forme appropriée.

L'idée est de construire un système de surveillance en focalisant sur la classe des RdP incorporés ; cette incorporation conserve la fonctionnalité du système d'origine, mais utilise des places et des jetons supplémentaires afin d'imposer les conditions qui servent de contrôles de cohérence.

Les diagnostiqueurs fonctionnent en même temps que le système original et agissent sur son activité. En exécutant les tests sur les marquages combinés du système original et du diagnostiquer, le mécanisme de détection est en mesure de localiser et d'identifier les défaillances dans le système global.

- **Approche issue de la contribution générale de Hadjicostis**

Pour le cas des SED modélisés par des RdP, si rajoute des capteurs, on rajoute des événements, le modèle change sans que les mécanismes désélection classiques ne soient nécessairement enrichis.

Par contre, on peut introduire la redondance analytique (caractérisée en termes d'espace de parité) et diagnostiquer les défauts en se basant sur les relations de parité. La méthodologie dans (Hadjicostis 99) utilise cette idée pour surveiller les défauts dans les SED à partir d'une modélisation par les RdP.

Cette approche consiste à ajouter des places supplémentaires sous forme d'un modèle incorporé dans le modèle RdP Original. Ces places redondantes aboutissent à des relations de parité qui permettant le diagnostic des Défauts des transitions et/ou des places du système global.

Dans ces conditions, des défauts de type place provoquent la corruption du nombre de marquage dans quelque places du RdP tandis que des défauts de transition empêchent la marque d'être enlevée/déposée à des places d'entrée/sortie d'une transition particulière.

Cette méthode a l'avantage de conserver le modèle de base du SED en aboutissant à des résultats intéressants dans l'étude de la surveillance de ces systèmes. Nous allons détailler cette approche dans le paragraphe (b.1)

b) Représentation du superviseur (diagnostiquer)

Il s'agit ici de décrire le module intervenant dans la conception du superviseur en utilisant la modélisation par les RdP. Ces derniers permettent de modéliser et visualiser des comportements du paraplasme, de synchronisation et du partage de ressources qui caractérisent le plus souvent les SED

La détection et le diagnostic sont intégrés au modèle du processus.

Ils sont mis en œuvre par un module séparé. Le diagnostic est déclenché automatiquement sur détection d'une défaillance

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.

L'identification de défaut dans un RdP ou la transition est inobservable mais pour lequel l'état est observable tout le long du cycle. Plus spécifiquement, à la fin d'une séquence l'état final du RdP redondant est observé, et en se basant sur cette information, les défauts qui pu être produits pendant cette séquence sont détectés et identifiés.

La structure générale réalisée est illustrée par la figure suivante :

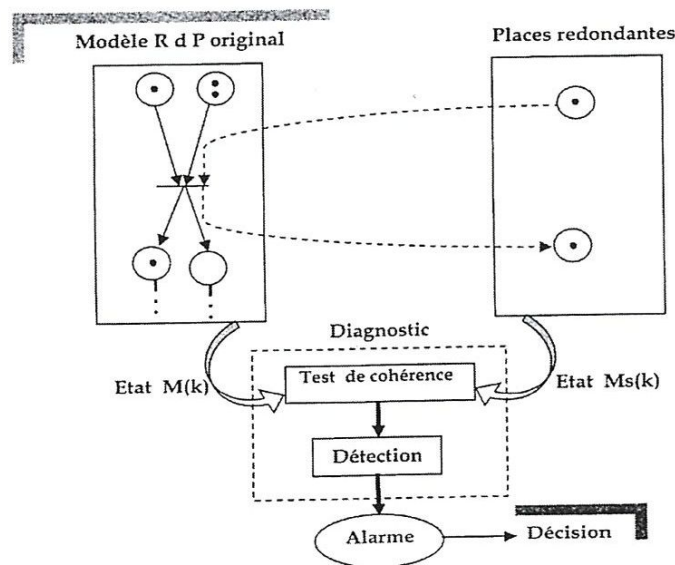


Figure 4.6 Principe de la surveillance séparée

3.15 Equation d'évolution

Si le RdP original (o) correspondant au SED contiennent n places, alors son évolution est donnée par celle du marquage associé à son RdP en

utilisant l'équation de marquage (2.13), de même si le superviseur s place ($s > 0$), ses états sont liés par la relation linéaire suivante :

$$Ms(k) = Q.M(k) \quad (3.3)$$

Ou

$Ms(k)$: est le vecteur de marquage du superviseur de dimension s

$M(k)$: est le vecteur de marquage du SED original de dimension n

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 $Mh(k)$ est

$$Mh(k) = \begin{pmatrix} In \\ Q \end{pmatrix} M(k) = G.M(k) \quad (3.4)$$

Ou

In : est la matrice identité de dimension $n \times n$;

L'équation d'évolution du RdP global(H) ainsi obtenu, déduite de l'équation (2.13)

$$Mh(k+1) = Mh(k) + C^+ x(k) - C^- x(k) \quad (3.5)$$

Et l'état initial $Mh(0) = G.M(0)$

Un RdP H est un RdP redondant séparé du RdPo si et seulement si Q est une matrice constante positive et $C'^+ = Q.C^+ - D.C' = Q.C^- - D$

Ou D est une matrice d'entiers non négatifs de dimension $s \times n$ tel que $D \leq \min(Q.C^+, QC^-)$

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 défaillances.

Générateur des 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 et dans certains cas, déterminer la nature du défaut et sa cause

Dans le cas d'apparition d'une panne ou d'une défaillance, qui se traduit par un comportement anormal du système, le vecteur du marquage sera donné par l'équation :

$$Mf(k) + f \quad (3.6)$$

Ou f est une défaillance de type place fp ou transition ft ou les deux à la fois

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

$$P = [-Q \text{ Id}] \quad (3.7)$$

Le vecteur $r(k)$ généré est :

$$r(k) = PMh(k) \quad (3.8)$$

Et doit vérifier les deux hypothèses suivantes

$$\begin{cases} r(k) = 0 \text{ en absence de défauts} \\ r(k) \neq 0 \text{ dans le cas contraire} \end{cases}$$

Dans ce qui suit, on génère des résidus pour détecter et localiser les défaillances de type places et/ou transitions en se basent sur un choix de Q et D

Cas d'une défaillance de type transitions 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

$$\begin{aligned} Mf(k) &= Mh(k) - C^+(:, j) \\ &= Mh(k) - C^+ . x \end{aligned} \quad (3.8)$$

Ou $x(k-1) = x_j$

Le résidu sera donc

$$\begin{aligned} r(k) &= PMf(k) \\ &= D . x_j \equiv D(:, j) \end{aligned} \quad (3.9)$$

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

$$\begin{aligned} Mf &= Mh(k) - C^-(:, j) \\ &= Mh(k) + C^- . x_j \end{aligned} \quad (2.10)$$

Et le générateur de résidus résultat sera

$$r(k) = -D . x_j \equiv -D(:, j) \quad (3.11)$$

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 (3.10-3.13) et aboutit à :

$$r_x = P \cdot (M_h(k) - [Q \cdot C^+ - D] \cdot f_T^+ + [Q \cdot C^- - D] \cdot f_T^-) \quad (3.12)$$

Si nous choisissons toutes les colonnes de D distinctes, nous pouvons 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.

ii. 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 :

$$M_f(k) = M_h(k) + f_{p(i)} \quad (3.13)$$

Où : $f_{p(i)}$ 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 :

$$r_p = P \cdot M_f(k) = P \cdot f_{p(i)} \quad (3.14)$$

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.

Dans le même cadre d'étude, on peut générer des résidus pour le diagnostic des défauts affectant les transitions et les places, dans ces conditions on aboutit à la forme générale de résidu $r(k)$ qui comportera les deux effets :

$$r = D \cdot f_T + P \cdot f_P = [D \ P] \cdot \begin{bmatrix} f_T \\ f_P \end{bmatrix} = R \cdot \begin{bmatrix} f_T \\ f_P \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Cette expression est identique à celle obtenue dans le cas continu où la solution proposée présente une paramétrisation de la matrice R pour faciliter le découplage des effets des défauts. On peut ainsi conclure de cette technique se rapproche des techniques vues pour la surveillance des SC.

Conclusion :

Ce chapitre a présenté un contexte général pour le diagnostic des pannes à base de modèle des SED. En termes généraux, le problème de

diagnostic consiste à trouver une explication à la présence d'un ensemble de symptômes en utilisant les connaissances du domaine.

Pour les systèmes de surveillance classiques fondés sur les Rdp, les appels au système de diagnostic ('c'est à dire les mécanismes de détection) se font tous à partir de mécanismes dérivés des deux principes suivants :

- Il est impossible de franchir une transition par le contenu en jeton des places d'entrée n'est pas suffisant ou si le temps écoulé n'est pas suffisant.
- Dans une situation donnée, il est impossible de prendre en compte un évènement donné après une certaine attente (chien de garde).

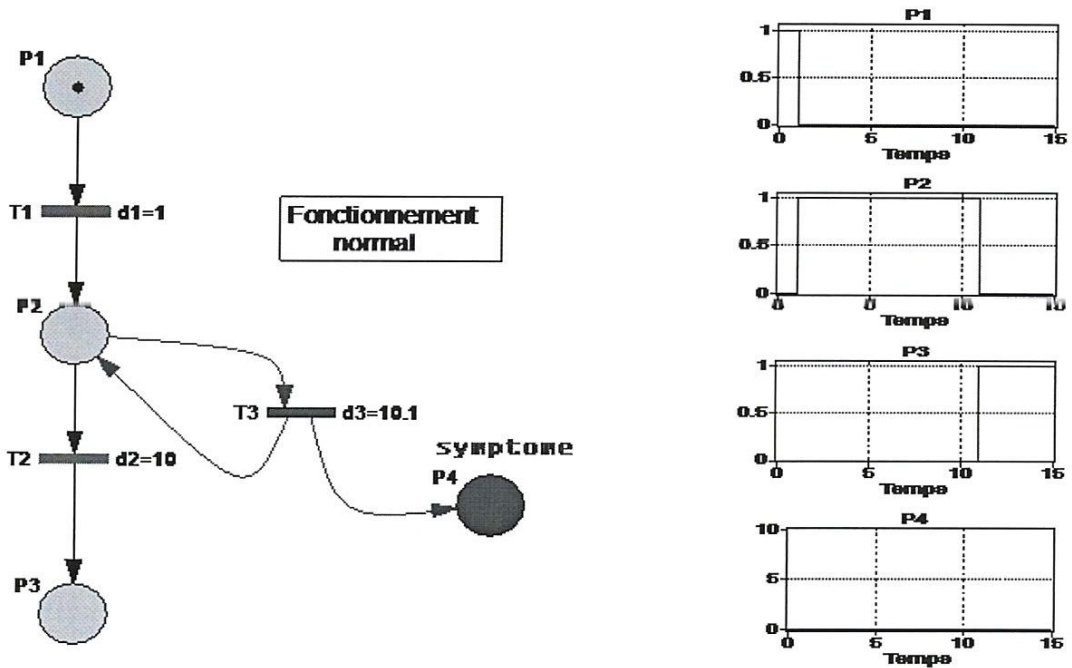
Nous avons recensé dans ce chapitre les méthodologies de diagnostic des défaillances sur les transitions et les places.

Dans ces approches, deux étapes principales sont considérées : Le développement de modèle et la construction du diagnostiqueur. Ce dernier est basé sur un principe de séparation stricte entre la fonction de surveillance de la commande. Il est alors conçu comme un modèle supplémentaire indépendant du modèle du processus qui permet de détecter et identifier la défaillance à partir des marquages observés périodiquement.

Méthode de chien de garde

Considérons le RdP de la figure suivante, on a vu modélisée un système d'usinage temporisé composé de trois places et deux transitions

Santé défauts



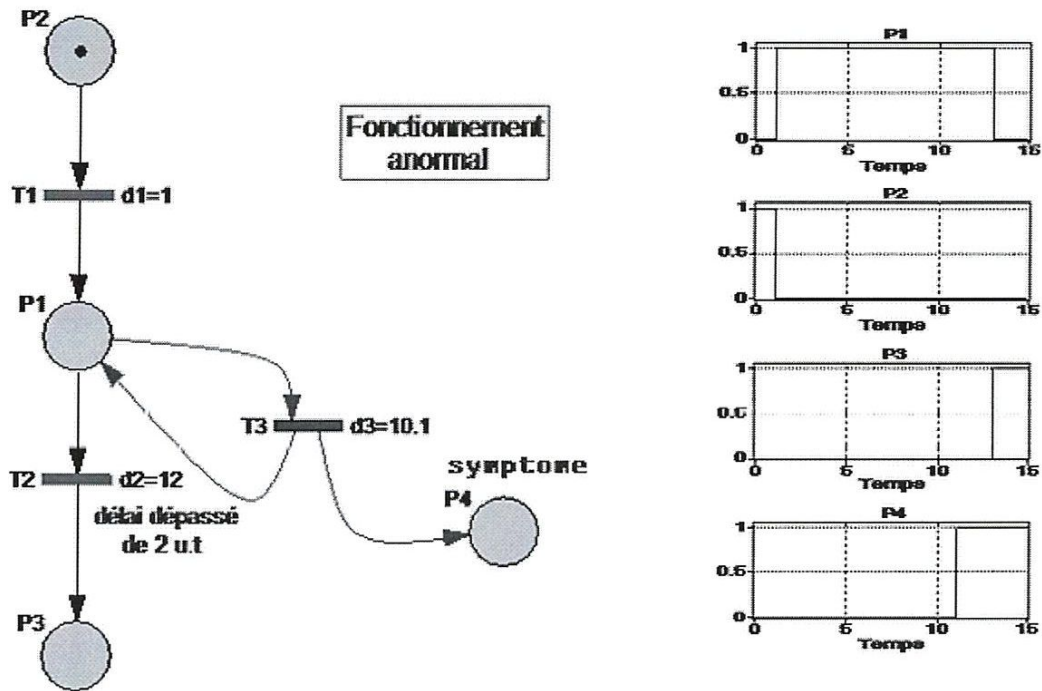
$d1=1\text{mn}$;
 $d2=10\text{mn}$;
 $d3=10.1\text{mn}$; la valeur de chien de garde.

Le jeton est disponible dans P1, la transition T1 Est franchissable.

Le jeton est disponible dans P2, $d2=10 < d3=10.1$, T2 est franchissable.

Le jeton est disponible dans P3, le cycle est terminé donc le système est fonctionne normale.

Avec défaut



En augmente le temps correspondant à la transition T2 de deux unités de temps,
 $d1=1mn$;
 $d2=12mn$;
 $d3=10.1$;
 La caractéristique correspondant à P4 prend une valeur ces les symptômes du
 fonctionnement anormal de système

Conclusion général

Nous avons présenté au cours de ce travail le principe de notre approche de diagnostic des systèmes à événements discrets.

Dans un premier temps, nous avons défini le cadre général des SAP. Ainsi, leurs différents types et leur mode de fonctionnement normale, le mode de fonctionnement dégradé, et le mode défaillance, en effet, le système peut avoir plusieurs modes de défaillances par contre, il admet une seule mode de bon fonctionnement, ce travail se focalise sur le diagnostic des dysfonctionnements affectant la partie opérative d'un SAP, en suite nous présentons quelque terminologie propre au diagnostic. En effet, nous avons établi que le diagnostic des défauts dans les SAP fait à travers de trois fonctions de base de détection, localisation et identification.

Deuxièmement nous avons présenté un cadre générale pour la modélisation des SED.

D'abord nous faisons un rappel sur les SED, la modélisation des SED, qui est établie pour un objectif donnée. Durant cette présentation, nous désignons deux catégories de modèles pour les SED, les modèles logiques et les modèles temporisés, les modèles logiques sont utilisés pour l'étude des propriétés qualitatives des SED parmi lesquels, nous trouvons les RDP qui permettent de modéliser et visualiser des primitives de comportement telles que la synchronisation, le parallélisme, le partage de ressources ou le séquençement.

Le troisième chapitre est consacré sur le diagnostic des SED, il présente une classification des méthodes de diagnostic, puis nous concentrons sur la classe des méthodologies à base de modèle dont la problématique de FDI étudie le diagnostic des défaillances de type place et de type transition.

Malgré toutes les recherches les SAP deviennent de plus en plus complexes il nous posera des problèmes de surveillance.

Bibliographie

- ✓ **L621-731**- Commande et diagnostic des systèmes dynamiques (Modélisation, analyse, commandes par PID et Par Retour d'état, Diagnostics)

(Rosario Toscano)

- ✓ **580**- Diagnostic à base de modèle approche d'espace de parité

(Bobidi Assia) Juin 2008

- ✓ **Thèse Doctorat d'État** – Modélisation simulation et surveillance des systèmes Hybrides par réseaux de Petri

(Belkacem Sait) Novembre 2006

- ✓ **447**- Mémoire d'ingénierie : Diagnostic des processus industriels

- ✓ **Jacques Boudier – 2004 – Lycée Pablo Nerudo Diepp-**

- ✓ **Ecole Doctorale :**

Diagnostic à base de modèles des systèmes temporaires et d'une sous-classe de système temporisé et d'une sous-classe de systèmes dynamique hybrides

(Haithem Derbel) 18 Décembre 2009

- ✓ **Doctorat d'état :**

Synthèse des générateurs des résidus Robustes pour la détection des défauts

(Kechida Sihem) Juin 2007

- ✓ **Les réseaux de petri :**

(Robert Valette) Mai 2000

- ✓ Du Grafctet aux réseaux de petri

(René David & Hassane Alla)