

République Algérienne Démocratique et Populaire  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ HADJ LAKHDAR « BATNA »

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE INDUSTRIEL

**MEMOIRE DE MAGISTER**

PRESENTE AU

**LABORATOIRE D'AUTOMATIQUE ET PRODUCTIQUE**

En vue de l'obtention du diplôme de

**MAGISTER**

*Spécialité : Génie Industriel et Productique*

Par

**BERKANI KHELLIL**

*Ingénieur d'état en Informatique*

Thème

***SUPERVISION DE LA PRODUCTION***

***DANS UN ATELIER FLEXIBLE***

Devant le JURY :

<i>H. SMADI</i>	<i>MCA</i>	<i>Université de Batna</i>	<i>Président</i>
<i>B. AZOUI</i>	<i>Prof</i>	<i>Université de Batna</i>	<i>Rapporteur</i>
<i>A.E. BOUGLOULA</i>	<i>MCB</i>	<i>Université de Batna</i>	<i>Co-rapporteur</i>
<i>H. KALLA</i>	<i>MCA</i>	<i>Université de Batna</i>	<i>Examineur</i>
<i>MENACER AREZKI</i>	<i>MCA</i>	<i>Université de Batna</i>	<i>Examineur</i>

*Année universitaire 2012-2013*

# *Remerciements*

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au sein du Laboratoire d'Automatique et de Productique LAP du Département de Génie Industriel de l'université Elhadje Lakhder Batna.

Je tiens à remercier, au terme de ce travail Dr Azoui B , pour le sujet qu'il m'a proposé.

Je remercie infiniment Dr Bougloula Imad Eddine pour avoir accepté le Co-encadrement proposé par Dr Azoui B . Merci aussi, d'avoir accepté de suivre la réalisation du travail , pour les précieux conseils , l'encouragement et la confiance.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude à l'égard du Dr L H Mouss , Maître de conférence, Directrice du LAP, et Dr Mhania Guerti , Professeur, Directrice du LSC, pour leurs conseils , encouragement et soutien.

Je remercie vivement les membres du jury qui m'ont fait l'honneur de juger mon modeste travail.

Mes remerciements à Mr Hadri Abdelkader , Mr Benaoun Rafik et Mr Chaibinou Abdelhamid pour leurs aide et conseils.

Je ne finirai pas sans :

- Remercier tous les enseignants ayant contribué à ma formation au cours des années
- Remercier ceux qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.
- Remercier ma famille, pour son soutien, sa compréhension , sa patience et d'avoir été toujours à mes cotés, de croire en moi et de supporter mes période de découragement , mes nombreux retards et mes absences physiques et d'esprit.

Merci encore à tous.

# *Dédicaces*

*A mon père, mon professeur de toujours, et ma très chère mère*

*Pour leurs soutien et encouragements.*

*A ma femme et mes chers enfants.*

*A mes adorables frères et sœurs.*

*A toute ma grande famille.*

*A mes proches amis,*

*Je dédie ce travail.*

## خلاصة

التحكم والإشراف على النظام الآلي للتصنيع المرن في الوقت الحقيقي يتطلب النظر في القدرات ومعالجة موارد أجزاء النظام بطرق مرنة مع التنبؤ بالجمود الحر ومراقبة فشل الموارد خلال المعالجة . وقد دُرُس تجنب الجمود في نظام التصنيع الآلي من قبل الباحثين باستخدام النماذج القائمة على البرمجة المختلطة وتمت هذه الدراسة في خلية ضمن مفهوم التوجيه والمرونة من خلال جدولة نظم التصنيع المرنة . العمل المقدم هنا هو استمرار للجهود السابقة في تطوير وتمكين وحدات الجمود الحرة في التحكم .

**كلمات مفتاحية** التصنيع, الآلي, التحكم , الخلية, البرمجة, الإشراف, الوقت الحقيقي , مورد, الجمود , فشل الموارد

## Résumé

Un facteur important dans le contrôle, en temps réel des systèmes flexibles de production est les défaillances de ressources. Ces perturbations peuvent rendre les séquences de traitement de pièces impossible à exécuter. Dans cette thèse, on s'intéresse aux défaillances de ressources dans les cellules flexibles automatisées de production. Les défaillances pendant le traitement et dans le mode libre sont prises en considération, et des procédures systématiques sont décrits pour reconfigurer le superviseur afin de contrôler le système. Le contrôleur est basé sur le formalisme des automates finis décrivant les défaillances de ressources,

**Mots clés** cellule manufacturière automatisée, supervision, contrôleur, défaillances, ressources

## Abstract

An important consideration in the real-time supervisory control of flexible manufacturing systems is the resource failures. These disturbances may cause pre-determined part processing sequences impossible to execute. In this these the issue of resource failures in automated flexible manufacturing cells is addressed. Failures both during processing and in the idle mode are considered, and systematic procedures are described to re-configure the supervisor to continue operation of the system. The described supervisory controller based on finite automata formalism accommodates resource failures, while taking into consideration deadlocks and dynamic routing flexibility options when generating a set of allowable events for the real-time control of automated flexible manufacturing cells.

**Keywords** Automated manufacturing cells; Supervisory control; Resource failures

# Sommaire

Introduction.....	9
<b>I Chapitre I <u>Les systèmes flexibles de production</u>.....</b>	<b>13</b>
Introduction.....	14
<b>I - 1 Les Systèmes de Production.....</b>	<b>14</b>
<b>I - 1.1 La production unitaire.....</b>	<b>14</b>
<b>I - 1.2 La production en série.....</b>	<b>15</b>
<b>I - 1.3. La production continue.....</b>	<b>16</b>
<b>I - 1.4 Classification des systèmes de production.....</b>	<b>16</b>
<b>I - 1.4.1. Classification selon la nature et le volume des flux physiques.....</b>	<b>16</b>
<b>I - 1.4.2. Classification selon le mode de pilotage.....</b>	<b>17</b>
<b>I – 2 La Flexibilité des Systèmes de Production.....</b>	<b>18</b>
<b>I - 2.1 Qu'est ce que la flexibilité ?.....</b>	<b>18</b>
<b>I - 2.2. Définition d'un système flexible de production.....</b>	<b>19</b>
<b>I - 2.3. Les catégories des systèmes flexibles de production.....</b>	<b>21</b>
<b>I – 3 Les Systèmes Automatisés de Production.....</b>	<b>25</b>
<b>I.3.1 Objectifs.....</b>	<b>25</b>
<b>I - 3.2 Schématisation d'un SAP.....</b>	<b>28</b>
Conclusion.....	31
<b>Chapitre II <u>Généralités sur les systèmes à événements discrets</u> .....</b>	<b>32</b>
<b>II - Généralités sur les systèmes à événements discrets.....</b>	<b>33</b>
<b>II - 1 Introduction.....</b>	<b>33</b>
<b>II - 2 Modèle logique des systèmes à événements discrets.....</b>	<b>34</b>

<b>II - 3 Langage et automate.....</b>	<b>35</b>
<b>II - 3.1 Evénement, chaîne et langage.....</b>	<b>35</b>
<b>II - 3.2 Langage.....</b>	<b>36</b>
<b>II - 3.3 Langage préfixe-clos.....</b>	<b>36</b>
<b>II - 3.4 Automate fini .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.5 Langage généré d'un automate fini.....</b>	<b>38</b>
<b>2.3.6 Langage marqué d'un automate fini.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.7 Opérations sur les automates et les langages.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.8 Composition d'automates.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.9 Réduction d'automates d'états finis .....</b>	<b>41</b>
<b>2.4 Conclusion.....</b>	<b>42</b>
<b>Chapitre III La supervision .....</b>	<b>43</b>
<b>III.1. Introduction.....</b>	<b>44</b>
<b>III.2. Quelques définitions de la supervision.....</b>	<b>44</b>
<b>III.3. Positionnement de la supervision dans le pilotage.....</b>	<b>45</b>
<b>III.4. La surveillance et le diagnostic dans le cadre de la supervision.....</b>	<b>47</b>
<b>III.5. Outils de supervision dans l'industrie.....</b>	<b>49</b>
<b>III.6. Principales fonctionnalités des outils de supervision.....</b>	<b>50</b>
<b>III.6.1. Gestion d'une base de données temps réel.....</b>	<b>50</b>
<b>III.6.2. Communication .....</b>	<b>51</b>
<b>III.6.3. Gestionnaire d'alarmes.....</b>	<b>51</b>
<b>III.6.4. Archivage des données .....</b>	<b>52</b>

III.6.5. Fonction vue synoptique/traitement graphique .....	52
III.7. Conclusion.....	52
<b>Chapitre IV <u>Conception d'un superviseur dans un S A P</u> .....</b>	<b>53</b>
IV 1 Introduction.....	54
IV-2 Description du superviseur.....	55
IV 3 Le modèle de la cellule de fabrication.....	55
IV 4 Synthèse du modèle d'exigences .....	57
IV.5 Système couplé et le modèle du contrôleur.....	61
IV. 6 Les défaillances de ressources.....	65
IV.7 Reconfiguration de la méthodologie proposée.....	66
IV. 8.Conclusion.....	69
<b>Conclusion générale et perspectives.....</b>	<b>70</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>72</b>
<b>ANNEXE1 .....</b>	<b>76</b>
<b>ANNEXE2 .....</b>	<b>79</b>

# Liste des figures et tableaux

Figure 1.1	<i>L'atelier flexible, compromis entre flexibilité et productivité</i> .....	20
Figure 1.2	<i>Relation entre la quantité et la diversité des pièces produites pour chaque type de système</i> .....	22
Figure Fig 1.3	Structure décisionnelle à cinq niveaux pour un SAP .....	27
Figure Fig 1.4	Schéma d'un Système Automatisé de Production. ....	29
Figure II .1	Graphe de transition d'états d'un automate fini .....	38
Figure Fig III.1	Positionnement de la supervision et du pilotage par rapport aux principales fonctions .....	46
Figure Fig III.2	Schéma général des tâches d'un système de supervision.....	49
Figure Fig 4.1	schéma de la cellule .....	55
Figure Fig4.2	Le graphe de transition de l'automate G .....	57
Figure Fig4.3	plan d'exécution des deux types .....	58
Figure Fig4.4	Graphe de transition des modèles d'automate fini pour les deux pièces	58
Figure Fig4.5	modèle couplé des deux automates Contrôleur S (ensemble de tous les états).....	60
Fig4.6	modèle réduit du contrôleur S' (distinction des états illégaux).....	63
Figure Fig4.7	modèle réduit des deux automates(ensemble des chemins que doit suivre le contrôleur pendant le traitement) . ....	64
Fig 4.8	modèle d'automate fini de ressource sans défaillance. ....	65
<u>Table 4.1</u>	Fonction de transition du contrôleur $\Psi$ pour un ensemble d'états .....	62
<u>Tableau 4.2</u>	Langage marqué du système .....	62

# **INTRODUCTION**

## **GÉNÉRALE**

## Introduction générale

Les systèmes industriels sont devenus de plus en plus complexes, pas seulement à cause de la complexité physique des installations et des différentes procédures pour la fabrication des produits de qualité, mais aussi de la croissante quantité d'information qu'il est nécessaire de gérer pour en garantir le fonctionnement correct. La commande automatisée de ces systèmes a été enrichie progressivement grâce aux avancées technologiques dans tous les domaines : les capteurs, les régulateurs, les réseaux à haute vitesse, etc. De plus, il est possible d'établir des liaisons de communication plus rapides, de récupérer et stocker chaque fois davantage d'information. Et même si les consoles des salles de contrôle sont plus performantes et plus versatiles, la quantité d'information affichée peut devenir ingérable.

Malgré le progrès et les avancées technologiques dans la commande distribuée, les systèmes prédictifs et l'automatisation des procédés complexes, la supervision de processus reste une tâche très importante qui est encore en grande partie une activité manuelle, exécutée par les opérateurs, notamment lorsqu'il s'agit de répondre aux événements anormaux. Cette activité, peut selon la nature et la criticité des anomalies ou dysfonctionnements, avoir un impact économique, environnemental et de sécurité plus ou moins significatif, non seulement au niveau des équipements mais aussi des opérateurs. D'autant plus que le fait de gérer une grande quantité d'information et d'avoir besoin d'agir vite peut mener les opérateurs à prendre des décisions incorrectes, dégradant encore plus la situation.

De ce fait, les systèmes de supervision et leurs outils sont nécessaires pour fournir à l'opérateur des critères suffisants pour la prise des décisions. L'automatisation est donc devenue de plus en plus importante pour optimiser la productivité en améliorant la maîtrise des processus industriels. Malheureusement, pour atteindre ses objectifs, l'automatisation a agrandi la complexité des processus et a changé la tâche de l'opérateur dont le rôle a évolué de la conduite à la supervision. Désormais, il est devenu essentiel que l'opérateur puisse connaître, à tout instant, l'état de fonctionnement du processus. Pour cela, l'échange d'informations entre l'opérateur et le processus a été amélioré au travers des interfaces homme-machine. Mais au-delà de ces évolutions, il faut désormais être capable aussi de détecter un dysfonctionnement le plus rapidement possible, de l'isoler, d'en identifier la cause

probable de façon à réduire leurs conséquences néfastes, et puis de proposer à l'opérateur des actions correctives.

Des nos jours, l'implémentation des systèmes automatisés suppose donc la mise en place d'outils pour la supervision. La maîtrise d'un processus est indissociable de sa supervision pour aider les entreprises dans leur recherche permanente d'une meilleure productivité et qualité à moindre coût. Cette supervision permet, par ailleurs, aux entreprises de garantir et préserver la sûreté de fonctionnement des équipements, de leur personnel (opérateurs), mais aussi de protéger l'environnement.

Notre travail se situe dans un contexte voisin puisqu'il porte sur la supervision. Ce mémoire de thèse est structuré en quatre chapitres ~

Dans le premier chapitre nous allons introduire des concepts liés à l'automatisation des systèmes de production et en introduisant la flexibilité des systèmes de production. Nous rappelons les concepts de flexibilité opérationnelle et de flexibilité décisionnelle, sans lesquels la supervision n'aurait aucune marge de manœuvre.

Le chapitre deux a pour objectif la description des différentes notions des systèmes à événement discret SED. Ensuite on a décrit la notion de modèle logique en se référant à la théorie de langage. Les concepts de base de nos recherches sont présentés dans ce chapitre.

Dans le troisième chapitre, nous abordons la description générale de la supervision, nous nous intéressons par l'aspect supervision des systèmes de productions où nous allons présenter sa définition, sa position dans le système de pilotage et ses principaux outils.

Nous terminons ce mémoire par le quatrième chapitre où nous abordons la problématique de la supervision. Un premier mécanisme de supervision basé sur la démarche mise en place par Ramadge et Wonham. Le mot *supervision* peut comprendre plusieurs aspects comme la sûreté de fonctionnement, la surveillance, la gestion de modes, et le pilotage. Dans notre recherche, le mot supervision concerne non pas l'analyse des défaillances du système mais son fonctionnement normal. La supervision concerne alors l'automatisation. Elle recouvre la notion de synthèse du superviseur, c'est à dire l'élément qui va contraindre le système à respecter un ensemble de comportements définis dans un cahier des charges. C'est la vision de la théorie de la supervision qui a été initiée par les travaux de Ramadge et Wonham, elle repose sur la théorie des langages formels et la théorie des automates.

Enfin, nous terminerons notre mémoire par une conclusion et nous indiquons les perspectives de ce travail qui portent principalement sur le développement d'un système superviseur et des futures recherches sont évoquées.

# **CHAPITRE I**

## **LES SYSTEMES FLEXIBLES DE PRODUCTION**

## I - Les systèmes flexibles de production

### I.1 Introduction

Une évolution particulièrement importante des techniques de production a pris place vers la fin des années 60, caractérisée par l'avènement de l'**automatisation flexible**. Elle est le fruit de la **conjonction entre** :

— une évolution des besoins : marché de plus en plus diversifié, éclatement des variantes, petits lots... ;

— une évolution de l'offre : la machine-outil à commande numérique (MOCN) arrive dans son ère industrielle, les robots industriels apparaissent (le premier aux États-Unis en 1968), ainsi que les minicalculateurs industriels et les automates programmables (1969) ; les microcalculateurs sont arrivés plus tard (1978). [25] (M. Jubin 94)

Dès son apparition, l'**automatisation flexible de la production** a été étroitement liée à l'usinage. Aujourd'hui encore, ce domaine reste prépondérant parmi les différentes réalisations en place.

### I - 2 Les Systèmes de Production

Dans une entreprise manufacturière, le système de production rassemble tous les moyens permettant de donner une valeur ajoutée aux produits ou aux services. Cette transformation est commandée par un système de gestion qui doit respecter un ensemble de contraintes en vue d'atteindre des objectifs définis [4] (Artigues, 97). Les systèmes de production peuvent être classifiés selon la nature et le volume des produits fabriqués.

#### I - 2.1 La production unitaire

Elle consiste à produire un seul produit sur commande du client. Il n'existe pas de stock de produit fini. Une fois fabriqué, le produit est directement livré au client. Dans ce mode de production, les produits fabriqués répondent à des besoins précis manifestés par les clients. Le mode de production unitaire est pratiqué dans la production de certains types de produits :

- très onéreux (avions, locomotives, navires...)
- ayant des caractéristiques bien définies qui répondent à un besoin précis (meubles...)
- complexes (montage d'usine ou d'atelier...).

Dans ce type de structure, le problème majeur consiste à réaliser le travail demandé avec un coût compétitif et en respectant les délais.

Les systèmes de production unitaire : pour ce type de systèmes, la taille du produit ou la demande impose une production de très faible quantité. Dans ce cas, la tâche principale de la production consiste à réunir les moyens nécessaires au bon moment et au bon endroit.

### I - 2.2 La production en série

Elle consiste à fabriquer un grand nombre d'articles identiques dont la conception et les caractéristiques ont déjà été définitivement établies. Le processus de fabrication est découpé en opérations élémentaires et répétitives permettant de produire plusieurs fois le même article. La production en série est une production pour le stock. La dimension de la série dépend de deux facteurs : la technologie et la demande. Il existe deux types de production en série :

#### • *La production en grande série :*

Les quantités à produire sont importantes et la diversité des produits est limitée. Dans ce cas l'utilisation de chaînes de fabrication est très rentable. Lorsque la chaîne est équilibrée, le taux d'utilisation des ressources est élevé et le temps d'attente par les produits en cours de fabrication est généralement faible.

Les systèmes de production en grande série ou de masse : cette classe se caractérise par le lancement en production, dans les mêmes délais, de grands volumes de produits similaires. L'ordre de passage des produits sur les ressources (machines, stocks, etc.) étant toujours le même, celles-ci peuvent être placées dans un ordre figé dépendant du produit à fabriquer.

#### • *La production en petite et moyenne série :*

C'est le cas de la plupart des Petites et Moyennes Entreprises (PME) pour lesquelles la diversité des produits et le faible volume des demandes ne permettent pas une spécialisation des moyens de production. L'ordonnancement, dans ce cas, joue un rôle primordial pour optimiser l'utilisation des ressources et minimiser les pertes de temps.

Les systèmes de production en moyenne série ou par lots : contrairement à la classe précédente, il s'agit ici d'ateliers dans lesquels la diversité des produits ne permet pas une spécialisation des moyens de production. Les différents produits suivent leur propre chemin sur des ressources communes de flexibilité élevée souvent regroupées par fonctionnalités équivalentes.

### I - 2.3. La production continue

La différence entre la production en série et la production continue est d'ordre technologique. Dans la première, le produit passe, pendant sa fabrication, par des opérations distinctes séparées les unes des autres. Par contre, dans la production continue, le produit circule en flux continu et subit des transformations physiques et/ou chimiques. Ce type de systèmes concerne surtout les industries dont la production nécessite la manipulation de matières liquides ou gazeuses (produit pétrolier, semoule.) La mise en place d'un système automatisé de production diffère d'un mode de production à l'autre. Afin de répondre parfaitement aux besoins et aux activités de l'entreprise.

### I - 2.4 Classification des systèmes de production

D'une manière générale, classer des systèmes de production impose une réflexion sur leur organisation, leur typologie, leurs spécificités et donc leurs cas d'usage. Dans ce cadre, nous constatons qu'il est maintenant très difficile d'établir une classification exhaustive de toutes les caractéristiques, publiées dans la littérature, concernant un système de production. Nous allons donc proposer un rapide survol sur des classifications qui dressent un bilan synthétique sur les aspects qui nous intéressent dans le cadre de cette étude. Dans ce contexte, deux classifications des systèmes de production trouvées dans la littérature [17][Giard, 03] permettent de situer précisément le contexte de notre travail : l'une selon la nature et le volume des flux physiques dans le système et l'autre selon le mode de pilotage.

#### I - 2.4.1. Classification selon la nature et le volume des flux physiques

La première classification est fondée sur la nature du système physique et le volume des produits fabriqués par ce dernier. Dans ce cadre, on distingue principalement trois types de systèmes :

**-a). Systèmes à flux continu (SFC) :** dans ces systèmes, la matière circule en flux continu, c'est-à-dire que l'attente entre deux ressources est exclue ou très limitée. Ce type de systèmes concerne surtout les industries dites « process » dont la production nécessite la manipulation de matières liquides ou gazeuses.

**-b). Systèmes à flux discret (SFD) :** dans ces systèmes, les produits peuvent être distingués individuellement (production discrète). De plus, des zones de stockage temporaire entre deux postes de travail sont utilisées. C'est le cas des entreprises manufacturières.

**-c). Systèmes à flux hybride ou discontinu (SFH) :** ces systèmes se situent à mi-chemin entre les systèmes à flux continu (SFC) et les systèmes à flux discret (SFD). Deux configurations peuvent être distinguées :

Les deux types de systèmes (continu et discret) sont couplés : la production est continue tout en ayant un conditionnement discret des produits.

-Les deux aspects continu et discret cohabitent : dans le même système de production, les traitements sont continus mais effectués par lots.

Dans certains cas, les deux configurations précédentes peuvent être associées [3](Andreu, 97).

### I - 2.4.2. Classification selon le mode de pilotage

-La deuxième classification des systèmes de production est étroitement liée à la stratégie de pilotage utilisée. En effet, en se situant au niveau opérationnel et sur la base du mode de déclenchement de la production, cette classification sépare les systèmes fonctionnant à flux tirés de ceux fonctionnant à flux poussés [17][Giard, 03] :

**-a)-.Les systèmes à flux tirés :** dans ce contexte, la production est déclenchée par la consommation des produits finis. D'une manière générale, on peut distinguer deux types de fonctionnement. Le premier consiste à maintenir un stock minimum spécifié de produits finis. Dans ce cas, on parle d'une production sur stock (make to stock). Autrement dit, si un produit quitte le stock, un ordre de fabrication est lancé au système afin de pouvoir le reconstituer. Dans le deuxième type, la production est déclenchée par la réception d'une commande. En d'autres termes, ce type de fonctionnement vise à maintenir un stock de produits finis nul.

**-b)-. Les systèmes à flux poussés :** dans ce cadre, le déclenchement de la production est basé sur des planifications et des prévisions pour déterminer un programme de production. Dans ce type de gestion des flux, c'est la disponibilité du produit venant de l'amont qui déclenche l'étape suivante de fabrication. Cette méthode de production implique souvent le stockage des produits finis avant leur livraison. Si d'un point de vue théorique cette classification reste pertinente, son

déploiement dans la réalité industrielle est moins viable. En effet, dans la pratique, des systèmes de pilotage purement à flux tirés ou purement à flux poussés sont rares. Dans ce contexte, au niveau opérationnel, ces modes coexistent où un pilotage « hybride » à flux poussés et tirés est utilisé. Par exemple, dans un système de production, les produits simples sont fabriqués en flux poussés et les produits complexes sont assemblés en flux tirés.

### I – 3 La Flexibilité des Systèmes de Production

#### I - 3.1 Qu'est ce que la flexibilité ?

La flexibilité fait actuellement l'objet d'un véritable débat de société et constitue en même temps un enjeu majeur pour la compétitivité des entreprises.

De manière générale, la flexibilité est définie comme une capacité d'adaptation sous la double contrainte de *l'incertitude et de l'urgence*. Il est important de préciser que c'est la conjonction de ces deux contraintes qui rend la flexibilité problématique. En effet, s'il n'y a pas d'incertitude, que ce soit dans la nature des problèmes rencontrés ou la façon de les résoudre, on connaît les difficultés à l'avance, et on peut rapidement mettre en place les moyens de les résoudre. D'un autre côté, s'il y a incertitude mais pas d'urgence, on a alors le temps d'examiner en détail la nature des problèmes et d'y trouver des solutions optimales.

En ce qui concerne les systèmes de production, la flexibilité de l'entreprise signifie sa capacité d'adaptation à l'exaspération de la concurrence sur des aspects multiples, simultanés et potentiellement contradictoires que sont la diversité, la quantité, les coûts, les délais, la qualité et les services. Les entreprises doivent donc gérer à la fois l'incertitude ou l'imprévisibilité, ainsi que l'urgence « on ne sait pas à l'avance ce qu'il faut faire, mais il faut le faire vite ». [9] (Ch. Everaere, P. Perrier 99).

Pour que l'entreprise puisse mettre en œuvre la flexibilité, elle doit adopter une démarche transversale engageant en effet des décisions qui relèvent de plusieurs domaines:

# *La stratégie* : diversification, innovation, investissement, décentralisation, logiques d'emploi (fidélité versus précarité) ;

# *La production* : technologie, organisation (ligne, atelier), gestion de production ;

# *Les ressources humaines* : logiques de compétence, définition des conditions d'acceptabilité sociale d'un système globalement plus efficace mais aussi plus exigeant ;

# *Les systèmes d'information* : définition des supports de communication permettant un échange rapide et fiable des données ;

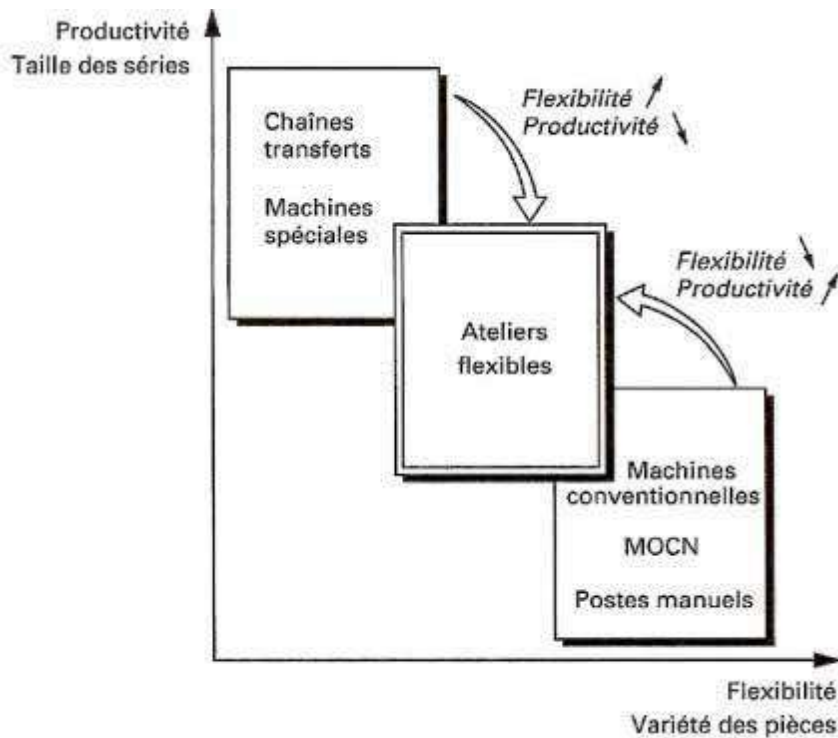
# *Le contrôle de gestion* : sous l'angle des indicateurs de performance et des modalités de coordination.

Nous nous intéressons, dans le cadre de ce travail, qu'aux solutions appliquées dans la production. Plus précisément, nous nous attachons à la tendance de *flexibilisation de l'outil de production*.

Avec l'automatisation flexible apparaît également la notion de système : des éléments de provenances diverses sont associés entre eux pour constituer *un système automatisé de production*. Ces systèmes offrent la possibilité de répondre rapidement aux désirs des clients à moindres coûts à l'aide d'une grande capacité à traiter des produits différents et du haut niveau d'automatisation.

### **I - 3.2. Définition d'un système flexible de production**

Actuellement, la plupart des entreprises industrielles ont pour but principal de fabriquer des pièces diverses en petites et moyennes séries d'une manière aussi efficace qu'en grandes séries. Pour assurer cet objectif un compromis doit être trouvé entre les objectifs contradictoires de flexibilité et de productivité. La solution à ce dilemme est le *système de fabrication automatisé*, plus connu sous le nom *d'atelier de fabrication flexible* ou simplement *Atelier Flexible*, ce nom est une traduction plus ou moins proche, mais communément adoptée, du vocable anglais "*FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM*", souvent abrégé en *FMS*.



MOCN: machines-outils à commande numérique

Figure .1.1. L'atelier flexible, compromis entre flexibilité et productivité

Le premier atelier flexible voit le jour aux Etats-Unis en 1967; d'autres réalisations suivent puis s'étendent au Japon et en Europe. Dès son apparition, l'atelier flexible a été étroitement lié à l'usinage-procédé le plus employé en mécanique- plus précisément au fraisage de pièces de type carter, pour l'aviation, le machinisme agricole, l'armement ou la machine-outil... Dans les années 80, favorisé par le déploiement de la commande numérique et des robots industriels, le développement a été rapide, ouvrant la voie à de nouvelles applications : tournage en usinage, constitution de cellules flexibles pour d'autres procédés (peinture, soudage, assemblage, traitement de surfaces... ). Ainsi, le champ d'application des ateliers flexibles dépasse la mécanique pour atteindre le travail du bois, du cuir...[25](M.Jubin94).

Un atelier flexible n'est donc qu'une unité de production la plus automatisé possible piloté par un ordinateur, ayant comme propriété fondamentale d'adapter sa production à une demande externe évolutive motivée par une seule préoccupation : l'augmentation de la productivité. Une définition relativement précise d'un atelier flexible est proposée par le professeur F. PRUVOT : “ un atelier flexible permet la production automatique de pièces de types divers et en quantités variables. Les opérateurs n'interviennent pas directement dans le processus de fabrication et

*limitent essentiellement leurs interventions à l'entretien; l'ordonnancement de la production est géré par un système informatique'*. [24](M.Widmer 91)

Ainsi, comprenant une collection de machines à commande numérique, un système de transport automatisé et un système informatique complexe, ces ateliers peuvent satisfaire les nouvelles exigences de la production industrielle par leur capacité d'adaptation de la production en quantité ou en variété de produits. Cette capacité permet de distinguer deux grandes approches de flexibilité qui peuvent coexister au sein d'une même installation [25](M.Jubin94) : *la flexibilité capacitaire "flexibilité-volume"*, qui consiste à pouvoir absorber des variations de volume de production sans pénaliser les délais; elle est essentiellement obtenue par des équipements en surnombre, mais aussi par la standardisation des équipements, et *la flexibilité de diversification "flexibilité-variété"*, qui consiste à s'adapter à des variantes des produits réalisés, la figure Fig 1.1 propose un schéma d'un atelier flexible.

### I - 3.3. Les catégories des systèmes flexibles de production

Dans la pratique, l'automatisation flexible peut prendre différentes formes, qui ont en commun de faire appel à la machine-outils à commande numérique, mais elles se distinguent les unes des autres, en fonction [25](M.Jubin94) :

- # Du nombre de machines associées,
- # Du monde d'organisation et de pilotage des machines,
- # Dés équipements de stockage-manutention qui les environnent,
- # Des caractéristiques des productions auxquelles les systèmes ainsi réalisés sont destinés

En se basant sur le nombre de machines à commandes numériques, les systèmes flexibles de production peuvent être scindés en cinq catégories [24](M.Widmer 91) comme le montre la figure Fig 1.2

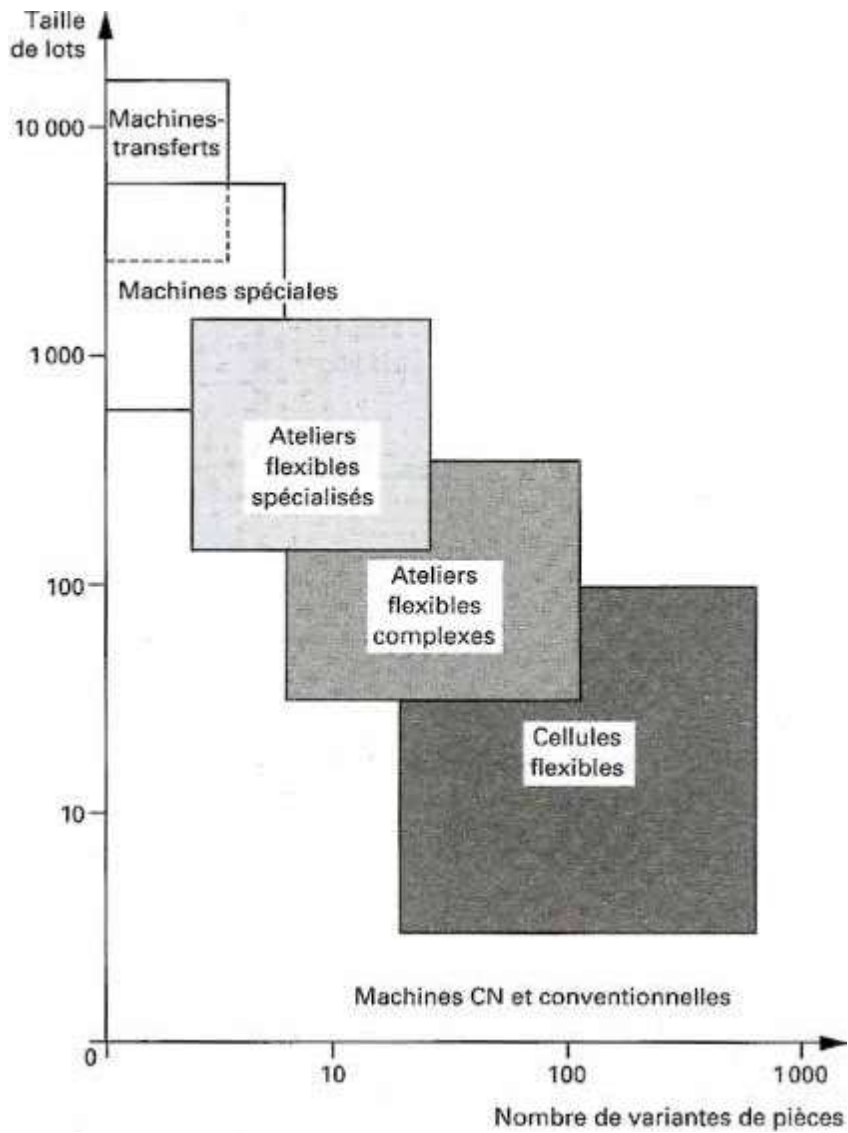


Figure .1.2. Relation entre la quantité et la diversité des pièces produites pour chaque type de système

*Le module flexible (MF)*

C'est une machine à commande numérique avec une aire de stockage, un chargeur de pièces et un changeur d'outils automatique ;

*La cellule flexible (CF)*

Représente plusieurs modules reliés par véhicule filoguidé permettent l'alimentation des machines en pièces ;

### *Le groupe flexible (GF)*

C'est un ensemble de cellules et de modules formant la même zone de production (fabrication, usinage ou assemblage) joints par des véhicules filoguidés ; le tout est géré par un ordinateur central ;

### *Le système flexible (SF)*

Représente plusieurs cellules flexibles reliées entre elles par des véhicules filoguidés composant les diverses zones de production ;

### *La ligne flexible (LF)*

C'est un ensemble d'instruments attribués aux diverses machines comme une ligne de véhicules filoguidés, de robots, de convoyeurs, de navettes,....

Une autre classification des systèmes flexibles peut être effectuée en fonction des caractéristiques de la forme du compromis entre la flexibilité et la productivité, on peut distinguer ainsi trois grandes catégories de systèmes [25](M.Jubin94) :

Les ateliers flexibles spécialisés,

les ateliers flexibles complexes,

les cellules ou îlots flexibles.

La plupart des réalisations industrielles entrent dans l'une ou l'autre de ces catégories.

*Les ateliers flexibles spécialisés ou lignes-transferts flexibles* [25](M.Jubin94).

Ces ateliers sont conçus pour la production de variantes dimensionnelles de pièces d'une même famille sur le plan fonctionnel et morphologique. Ces pièces constituent ce que l'on appelle une famille de pièces fermée; à cette famille correspond une gamme unique, c'est à dire une succession d'opérations bien déterminée. De ce fait, les pièces passent successivement sur les différentes machines de l'atelier disposées en ligne dans l'ordre où elles interviennent.

Les machines peuvent être standardisées ou spécialisées, mais programmables. Le pilotage de l'atelier est facilité puisque sa structure, calquée sur le flux des produits, est linéaire et son organisation est de type séquentiel pour l'acheminement des pièces, sans possibilité de conflits de

priorité. Le nombre de machines dépend de la famille de pièces fabriquée, mais il est généralement compris entre quatre et dix unités.

### *Les ateliers flexibles complexes* [25](M.Jubin94).

Regroupant plusieurs (cinq à vingt) machines à commande numérique spéciales ou standards associées à des systèmes de transfert de pièces et de chargement / déchargement totalement ou partiellement automatisés, ces ateliers sont destinés à la production de pièces variées du point de vue des formes et des dimensions, constituant ce que l'on appelle une famille de pièces ouverte.

Aux divers types de pièces de la famille correspondent des gammes différentes. Ces gammes ont cependant certaines opérations en commun, de telle façon qu'une machine donnée du système puisse intervenir dans la fabrication de plusieurs pièces de la famille. Cette diversité des pièces et des gammes, ainsi que les possibilités de combinaisons qui en résultent pour l'affectation des pièces aux machines de l'atelier, sont mises à profit pour optimiser l'engagement des machines.

La progression des pièces dans un atelier flexible de ce type n'est pas prédéterminée. Le logiciel de commande doit assurer une véritable gestion en temps réel en fonction de règles (régissant notamment les priorités) préalablement établies par les concepteurs; il ne s'agit donc pas seulement d'assurer une commande séquentielle des cycles automatisés des machines et équipements de l'atelier.

### *Les cellules ou îlots flexibles d'usinage* [25](M.Jubin94).

Par rapport aux ateliers flexibles, les cellules sont des systèmes moins complexes, regroupant un plus petit nombre (deux ou trois) de machines à commande numérique, qui sont presque toujours des machines standards issues des catalogues des fournisseurs. A ces machines sont associés divers équipements assurant de manière automatique les fonctions de stockage, transfert, chargement /déchargement des pièces brutes et finies. Les machines constituant les cellules flexibles sont associées les unes aux autres en fonction d'un ensemble d'opérations à réaliser indépendamment de l'appartenance des pièces usinées à une famille de pièces bien déterminée. Ainsi, une cellule flexible est caractérisée par la nature des opérations qu'elle permet de réaliser, alors qu'un atelier flexible est dédié à une famille de pièces.

### I – 4 Les Systèmes Automatisés de Production

Dans ce paragraphe, nous nous intéressons à la présentation des concepts liés à l'automatisation des systèmes de production. Notre objectif est de présenter brièvement ce qu'est un système automatisé de production, quels sont ses objectifs, de quelle façon les systèmes de production automatisés sont organisés et finalement nous nous proposons de situer notre travail dans cette organisation. Commençons par définir les Systèmes Automatisés de Production (SAP). "Tout système de production a pour objectif de transformer, sous certaines conditions, un élément initial en un élément final, afin que sa valeur, par rapport à certains critères soit augmentée.

#### I.4.1 Objectifs

La réalisation d'une telle mission dépend de la satisfaction d'un ensemble d'objectifs. Ces objectifs sont classés selon quatre classes différentes [26](Pourcel 86) :

Objectifs techniques : cette classe propose des objectifs liés aux techniques de conception et de transformation employées dans les processus de production. Nous pouvons distinguer les objectifs techniques suivants :

- diminuer la durée du cycle de production. La durée du cycle de production est diminuée par la somme des durées de chacune des étapes nécessaires à l'élaboration des produits. Ces durées comprennent les traitements administratifs, les durées d'approvisionnement, de transfert, etc. La réduction de ces durées se traduit par une amélioration des volumes de production par unité de temps, donc par des gains économiques ;

- améliorer la qualité des produits. Un des objectifs des systèmes automatisés de production est d'assurer des niveaux de qualité conformes aux attentes des clients afin de maintenir une position sur le marché face à la concurrence. Mais la quête des améliorations de qualité a aussi des raisons internes. Une amélioration de la qualité des produits conduit à une diminution des rebuts, ce qui se traduit par un accroissement du volume de production et une diminution des coûts.

- améliorer la disponibilité du système de production. L'objectif d'amélioration de la disponibilité des systèmes automatisés de production vise à augmenter le taux de service du système et l'engagement des machines à travers l'amélioration de certains indicateurs. Parmi ces indicateurs nous trouvons : la fiabilité des équipements (l'objectif est de minimiser l'occurrence et la durée des pannes des machines), la politique de maintenance (intégration de maintenance préventive pour augmenter la fiabilité et la disponibilité, en plus de l'intégration d'une maintenance

corrective qui, suite à un dysfonctionnement de la machine, permet sa réutilisation dans les plus brefs délais), la politique de pilotage (coordination entre les ressources), etc.

- augmenter la flexibilité du système de production. Il existe plusieurs définitions de la flexibilité suivant que l'on s'intéresse, par exemple, à la capacité du système de fabrication à s'adapter à des variations de la demande (flexibilité décisionnelle du système de gestion [7](C.Briand 99) ou à des aléas de fonctionnement des ressources (flexibilité physique de l'atelier [13](Erschler 93)). La flexibilité physique correspond à la possibilité de modifier ses caractéristiques fonctionnelles afin d'accepter la fabrication de nouvelles variantes de produits anciens ou de nouveaux produits. L'objectif de ce type de flexibilité est d'offrir aux clients une grande variété de produits en utilisant les mêmes ressources matérielles. Pour ce qui concerne la flexibilité décisionnelle, l'équipe Organisation et Conduite de Systèmes Discrets (OCSD) du Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS) a proposée une structure comportant cinq niveaux décisionnels (Figure 1.3). Ces niveaux ont été établis pour mieux exploiter la flexibilité physique du système de production et pour intégrer les consignes du client dans le système de production. Les niveaux intégrant cette structure sont : Planification, Ordonnancement Prévisionnel, Ordonnancement Temps Réel, Coordination et Commande Locale [1] (Ahmed et al96),[14](Esquirol et P.Lopez 99). Les deux premiers niveaux concernent les décisions prises hors ligne. La planification [19](Hetreux 96) est utilisée dans la définition des plans de fabrication. L'ordonnancement prévisionnel [22](LOP 91) sert à définir le routage des produits dans l'atelier. Les trois derniers niveaux s'intègrent dans l'exploitation temps-réel du système de production. Le niveau ordonnancement temps réel [21](J.C.Billaut 93) souvent appelé pilotage assure la cohérence entre les décisions prévisionnelles et les contraintes temps-réel issues du comportement réel du système de production. La coordination permet de gérer de manière cohérente les interactions entre les différentes ressources de l'atelier en fonction des contraintes telles que les ressources partagées, les séquençements obligatoires, les synchronisations diverses ou les parallélismes, etc. [5](B.Bako 90). Finalement, la commande locale est l'interface entre les capteurs/actionneurs du procédé et le système de commande chargé de mettre en œuvre les décisions prises au niveau coordination. La flexibilité décisionnelle naît en fait de cette structuration qui donne au système de production un pouvoir d'adaptation important dans ses prises de décisions.

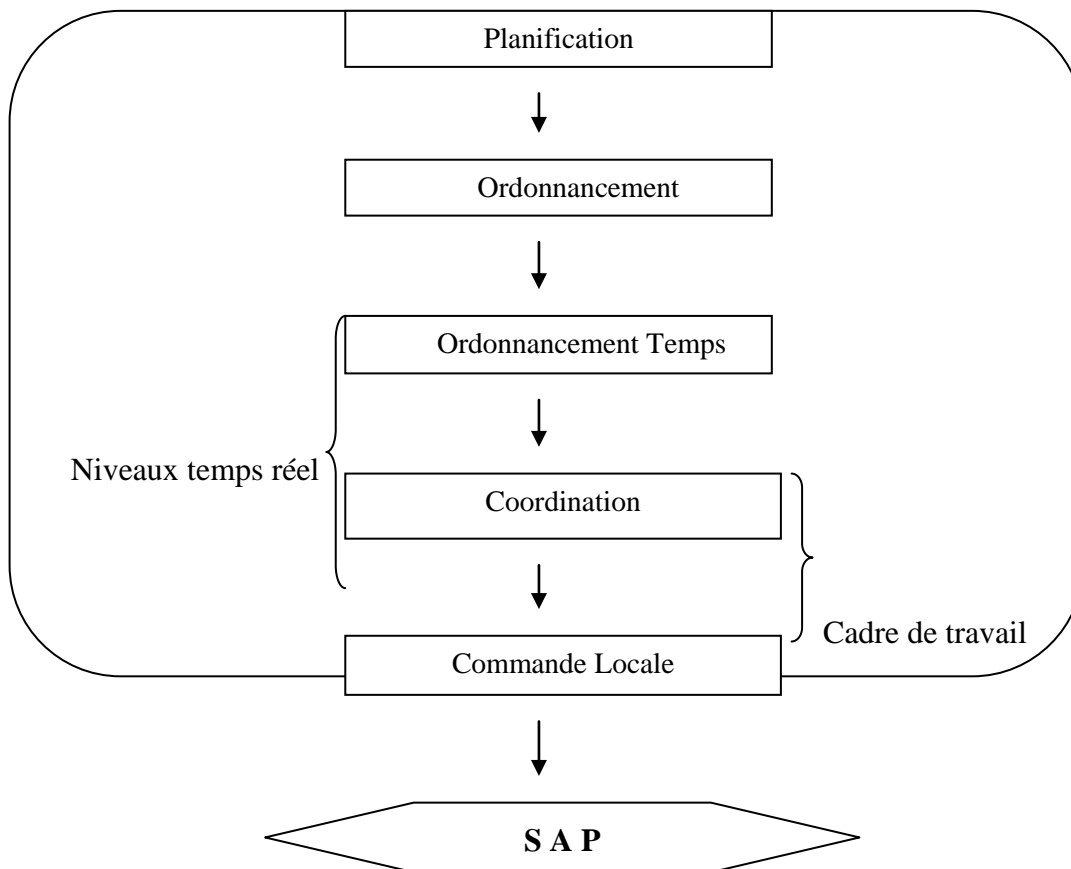


Fig. 1.3: Structure décisionnelle à cinq niveaux pour un SAP.

Objectifs économiques : les objectifs économiques concernent les bénéfices financiers de l'entreprise. Parmi ces objectifs, nous pouvons citer la diminution des coûts de production, la diminution de la valeur des stocks et l'optimisation de la capacité de production du système. La diminution des coûts de production s'intègre à tous les niveaux de la structure décisionnelle, dès les niveaux décisionnels hors-ligne (par exemple la prévention des approvisionnements), jusqu'aux plus bas niveaux (diminution des rebuts, des gaspillages etc.). La diminution de la valeur des stocks est aussi une nécessité pour l'entreprise afin d'employer l'argent immobilisé à des investissements productifs. La réduction des stocks est une opération difficile et délicate. Il faut mettre en relation les fonctions "approvisionnement" avec le fonctionnement des magasins, analyser les demandes des clients, établir des négociations avec les fournisseurs, etc. Un autre objectif que nous pouvons citer dans cet aspect est la recherche de la production optimale. Cet

objectif est en relation étroite avec les objectifs que nous venons de citer (diminution des coûts de production et de stockage). Une production optimale ne consiste pas à produire le maximum possible, mais "le nécessaire". Un volume de production supérieur à la demande induit des coûts de stockage plus importants. Un volume inférieur conduit à des pénalités économiques résultant du non respect des engagements de délais de livraison.

Objectifs humains : l'amélioration des conditions de travail constitue un des objectifs majeurs de la production. Les systèmes de production comportent souvent des tâches dangereuses, difficiles d'accès ou très pénibles pour les opérateurs humains (i.e. manipulations de produits chimiques, conditions de températures difficiles, etc.). L'automatisation des systèmes de production tend à réduire l'intervention humaine dans ces tâches ( dans la métallurgie, la mécanique de précision, l'industrie automobile, etc.), pour lui confier plutôt des fonctions de supervision et de prise de décisions.

Objectifs de pilotage : ils visent à accroître la maîtrise des coûts de production et de stockage, et de l'amélioration des temps de réaction en cas de perturbation. Pour les deux premiers objectifs, une amélioration des procédures de fonctionnement ainsi qu'une meilleure fiabilité des informations communiquées contribuent largement à l'optimisation des coûts de production et de stockage. En ce qui concerne l'amélioration des temps de réaction en présence de perturbations, deux solutions doivent être envisagées : prévoir hors ligne des mesures correctives de planification et d'ordonnancement pour résoudre les problèmes engendrés par les évolutions du marché (indisponibilité temporaire d'une matière première, modification du cahier des charges par le client, etc.), adjoindre aux couches des niveaux temps réel toutes les compétences requises afin de résoudre au mieux les problèmes qui peuvent se présenter pendant la phase de transformation des produits (dysfonctionnements des machines, modification des commandes, etc.).

### I - 4.2 Schématisation d'un SAP

D'une manière générale, les systèmes automatisés de production que nous venons de présenter sont schématisés selon trois types d'entités (Figure 1.4) :

- \_ Une partie opérative (ou procédé) qui regroupe l'ensemble des organes physiques (machines) qui interagissent sur le produit pour lui conférer sa valeur ajoutée,
- \_ Une partie commande qui comprend l'ensemble des moyens logiciels et matériels ainsi que les informations permettant la gestion du procédé,

\_ une interface qui permet la communication entre la partie opérative et la partie commande.

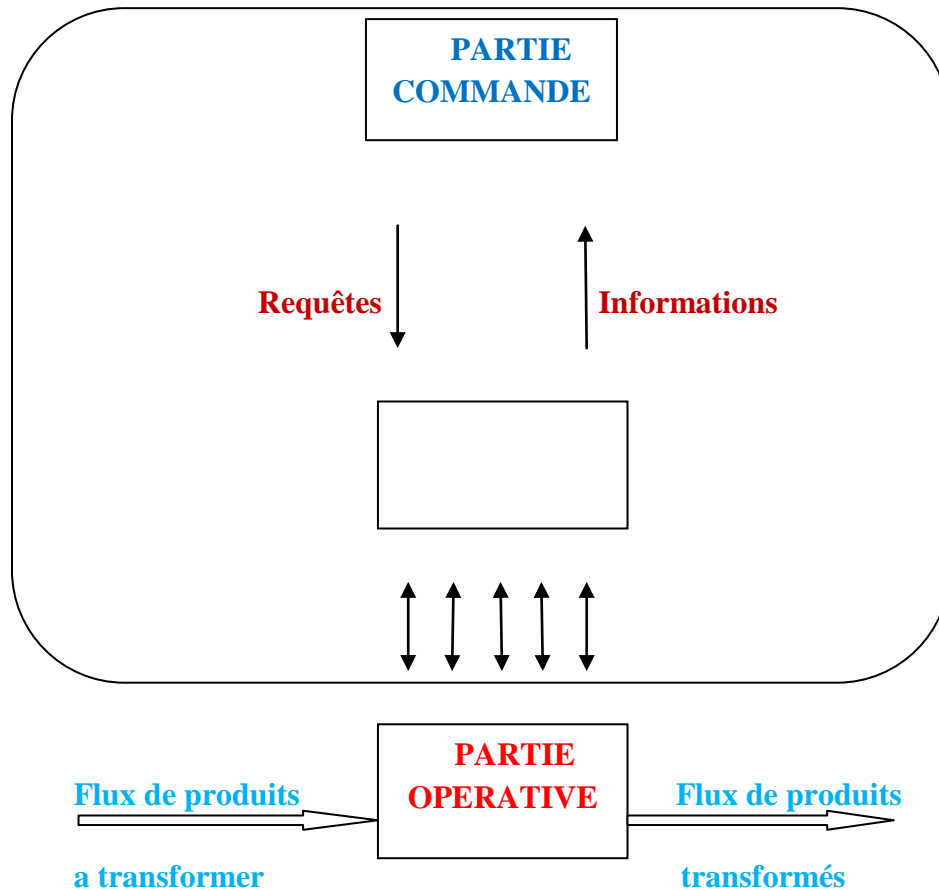


Fig. 1.4: Schéma d'un Système Automatisé de Production.

Dans cette schématisation, le bloc de commande est chargé des décisions concernant les actions qui doivent être exécutées par le procédé afin de transformer le produit selon les consignes imposées par l'utilisateur. Ces ordres sont envoyés sous la forme de requêtes de commande, par exemple, percer un trou d'un diamètre de 10mm. Ces ordres sont reçus par le procédé qui agit en conséquence sur le produit et atteste des actions effectuées par l'envoi d'informations vers l'entité qui a envoyé l'ordre (le bloc commande). Dans notre exemple, il s'agit de lui notifier que le trou a été percé. Ceci se fait via le bloc interface. L'interface adapte l'information qui transite de la partie commande vers le procédé (requêtes) ou vice versa (informations) en utilisant deux types de composants :

- Actionneurs : chargés de traduire les requêtes de commande en actions effectives dans le procédé,
- Capteurs : considérés comme des systèmes de mesure pour la commande. Leur type est très différent selon les grandeurs qu'ils mesurent (capteurs de proximité, capteurs analogiques de mesure de courant électrique, capteurs d'effort, etc.).

Dans les systèmes de production réels actuels, la quantité de capteurs/actionneurs à interfacer est tellement importante que cela conduit à un degré de complexité souvent difficile à maîtriser. Une démarche classique pour faire face à cette complexité consiste à organiser le système de commande en plusieurs niveaux de complexité moindre. De cette façon, les objectifs de commande sont réorganisés en sous-objectifs plus faciles à manipuler. Par exemple, pour un robot chargé de transporter des pièces d'un endroit à un autre, la requête "transporter de A vers B" pourra être décomposée en "mouvement en X", "mouvement en Y" et "mouvement en Z".

Les évolutions actuelles imposent aux entreprises de pouvoir faire face simultanément à la concurrence et aux besoins du marché. La logique de production à moindre coût est efficace pour supporter la concurrence mais ne l'est plus lorsqu'il faut intégrer la dynamique du marché. Les systèmes de production doivent donc être capables d'établir un compromis entre les coûts de production et le besoin de flexibilité en termes de produits. Ce compromis peut être atteint notamment par une amélioration des performances du système de production en termes de réactivité et de flexibilité. Une solution consiste alors à intégrer cette flexibilité et cette réactivité au niveau de la gestion temps-réel ou "supervision" du système de production.

Les activités de production constituent la base du système économique des nations, elles transforment les ressources humaines, matérielles et financières en biens et services. L'importance de ces activités impose aux entreprises, devant un marché fortement concurrentiel et une évolution importante en matière de production, de pouvoir s'adapter le plus rapidement possible aux changements et aux évolutions de la production. Sous la pression concurrentielle, les entreprises sont contraintes d'offrir à leurs clients de la variété, des produits différenciés, nouveaux, innovants, peu chers et personnalisés, tout en assurant l'objectif final qui est bien évidemment la pérennisation de la rentabilité financière. Le souci de l'entreprise est donc de fabriquer des produits de qualité en quantité variante et à moindre coût! et de chercher les moyens à mettre en œuvre pour atteindre ces buts.

Le premier pas accompli pour remédier à ces problèmes est l'introduction des machines à commande numérique. Il s'agit de machines-outils pourvues de nombreuses possibilités de réglage

et capables de réaliser des opérations d'usinage aussi diverses que complexes. Ensuite, les progrès considérables de l'informatique et de la robotique ces dernières années ont permis l'introduction d'un haut degré d'automatisation dans l'industrie manufacturière qui s'est traduit par :

- ✓ Une production élevée et régulière,
- ✓ Une amélioration de la qualité des produits,
- ✓ Une amélioration des conditions de travail et de sécurité.

Grâce à ces évolutions, les entreprises ont opté pour des nouveaux systèmes de production ayant des nouvelles caractéristiques, permettant la possibilité de répondre aux différentes exigences.

### 1.5 Conclusion

Cette présentation des principaux types d'organisation des systèmes de production montre qu'il n'y a pas strictement une dichotomie entre ses organisations. Les systèmes de production doivent non seulement être capables de réaliser plusieurs types de produit, mais aussi de suivre l'évolution du marché en modifiant progressivement les démarches de productivité. Leur mise en œuvre s'accompagne donc d'une mise à niveau technologique et nécessite un important effort de formation et d'information, c'est l'introduction de la flexibilité.

Aujourd'hui, l'atelier flexible est au cœur des préoccupations des entreprises, quel que soit leurs types de productions. Leurs apports sont multiples :

- l'amélioration de la productivité.
- l'accroissement de la rentabilité.
- l'accroissement de la qualité.
- l'amélioration des conditions de travail.

Mettre en œuvre une telle condition, est une opération délicate car la production dans les systèmes de fabrication flexibles est confrontée à un changement continu de flux de production, ainsi, ses systèmes flexibles sont caractérisés par leur instabilité face aux aléas.

# **CHAPITRE II**

# **GÉNÉRALITÉ SUR LES**

# **SYSTÈMES À ÉVÈNEMENTS**

# **DISCRETS**

## II - Généralités sur les systèmes à événements discrets

### II - 1 Introduction

Alors que la théorie classique des systèmes continus (y compris en temps discret) et de l'Automatique s'intéresse à des systèmes obéissant essentiellement aux lois de la Physique, et descriptible par des équations différentielles ou aux dérivées partielles (ou leur discrétisation approchée en temps), le vocable systèmes à événements discrets (SED) recouvre des systèmes également dynamiques, mais dont la dynamique échappe totalement à ce genre de description. En réalité, au lieu de s'intéresser au déroulement continu des phénomènes, on ne se soucie que des "début" et des "fin" de ces phénomènes (les événements discrets) et leur enchaînement dynamique, logique ou temporel. Les modèles SED sont utilisés dans le domaine de la production manufacturière, la robotique, les trafics de véhicules, la logistique, les réseaux de communications, etc.

La plupart des systèmes physiques cités ci-dessus présente des caractéristiques communes telles que le parallélisme, la synchronisation et la concurrence. Les modèles SED peuvent être utilisés à différents niveaux :

- *Spécification*. Avant de concevoir un système, il faut déterminer ce qu'on veut lui faire faire, que doit être sa réponse dans certain nombre de situations-type, etc. ?

- *Conception, architecture*. Une fois spécifié le comportement fonctionnel du système, il faut le concevoir, notamment du point de vue de son architecture : composants, agencement et articulations, mécanismes de synchronisation et d'exécution.

- *Validation logique*. Il faut ensuite vérifier que le système ainsi conçu répond bien aux spécifications désirées, et qu'il n'engendre pas d'autres comportements indésirables.

*Evaluation de performance*. A cette étape, la notion de temps intervient. On cherche alors à répondre à des questions du type : combien d'événements d'un type donné se produisent en une heure, à quelle date se produira le  $n$ -ème événement, etc. ?

- *Ordonnancement*. L'ordonnancement a pour but d'établir des politiques de priorité, de routage, etc. destinées à résoudre les problèmes posés par les phénomènes de concurrence.

Pour conclure, la théorie des systèmes à événement discrets peut être divisée actuellement en deux grandes approches [6](CAS 99):

- L'approche *logique* qui ne s'intéresse qu'à l'occurrence des événements ou l'impossibilité de cette occurrence et à la succession de ces événements, mais pas à la date précise de ces occurrences, autrement dit pas aux aspects de performance ; Ramadge et Wonham [29](RAM 89a) [31](WON 94) cette approche est utilisée pour aborder la problématique de la commande qui fait l'objet de plusieurs recherches, et dont il est donc essentiellement question dans la suite de ce mémoire.

- L'approche *quantitative* qui s'adresse à l'aspect évaluation de performance voire à l'optimisation de ces performances ; dans ce contexte général, on peut distinguer deux autres approches :

la première est l'approche d'analyse de perturbation initiée par Y.C. Ho [20](Ho 91) qui cherche à résoudre toutes sortes de problèmes d'optimisation non classiques, en raison de l'aspect "*événements discrets*", et ce généralement dans un contexte stochastique.

la deuxième est l'approche "*Max Plus*" qui se caractérise par l'utilisation d'une *algèbre adaptée*, ou plus généralement, l'algèbre des *dioides* (ou *semi-anneaux*) [11](COH 97).

L'étude des systèmes à événement discrets peut être menée avec différents outils tels que la simulation sur ordinateur, réseaux de files d'attente, les langages de programmation parallèle/temps réel et finalement des modèles dynamiques algébriques, comme l'algèbre "*Max Plus*" qui aide à étudier certaines classes des SED (graphes d'événements temporisés) il prend en compte l'aspect quantitatif (évaluation de performance), et s'appuie sur des modèles mathématiques tout à fait analogues aux modèles utilisés en automatique classique.

Cette classe de systèmes n'est pas traitée dans ce mémoire. Certains outils tels que les automates et les langages ont prouvé leur efficacité pour la commande des SED. Nous avons retenu ces outils dans le cadre de notre recherche, c'est pour cela que nous les présentons en détail dans la suite de ce chapitre. Nous justifierons par la suite l'utilisation conjointe de ces outils.

## II - 2 Modèle logique de systèmes à événements discrets

Un *Système à Événements Discrets (SED)* est un système dans lequel l'espace des états est discret. Un tel système est à opposer à un système continu pour lequel l'état est représenté par des grandeurs qui prennent des valeurs dans un domaine continu. Les SED sont des systèmes qui sont fondamentalement asynchrones, c'est-à-dire que ceux-ci ne sont pas cadencés par une horloge. La dynamique de ces systèmes est assurée par l'occurrence des événements, ils se produisent de

manière instantanée. En l'absence d'événement, l'état du système demeure inchangé. L'évolution du temps entre deux occurrences ne provoque aucun effet détectable sur le système.

L'évolution d'un SED peut être décrite par un ensemble de couples :  $(e, t)$  où " $e$ " représente un événement et " $t$ " représente l'instant d'occurrence de cet événement. Un ensemble ordonné de couples constitue ce que l'on appelle une *séquence*. Une telle description se place à un niveau temporel dans le sens où l'instant d'occurrence des événements est une information considérée comme pertinente.

En revanche, si l'on considère un *modèle logique* pour décrire le SED, seul l'ordre d'occurrence des événements importe. En général, un SED peut avoir un comportement non déterministe. Nous entendons ici le "non-déterminisme" par le fait que nous ne pouvons pas prévoir, a priori, quelle sera l'évolution du système. En d'autres termes, pour un état donné du système, plusieurs événements différents sont supposés susceptibles de se produire. Donc une séquence unique ne suffit alors plus pour décrire le comportement du système. Ainsi, l'évolution d'un SED sera en général décrite par un ensemble de séquences d'événements. Cet ensemble de séquences constitue un *langage* sur l'ensemble des événements possibles dans le système.

Dans la suite, nous nous intéresserons uniquement à des modèles logiques.

## II - 3 Langage et automate

### II - 3.1 Événement, chaîne et langage

Pour formaliser des systèmes à événements discrets sous forme de langage, on représente les événements par des symboles. L'ensemble de tous ces symboles  $(\sigma_1, \dots, \sigma_n)$  est fini et constitue un alphabet noté  $\Sigma$ .

Toutes les séquences finies d'événements, ou trace, peuvent alors être représentées par une séquence de symboles  $s = \sigma_1. \sigma_2$  appelée chaîne (ou mot) sur l'alphabet  $\Sigma$ .

On appelle alphabet (ou vocabulaire), un ensemble fini de symboles noté  $\Sigma$ . Dans le cas d'un SED, l'alphabet pourra représenter l'ensemble des événements possibles dans le système. Cet ensemble est composé de tous les événements qui font évoluer le SED.

Une *chaîne* (ou *mot* ou *séquence*) définie sur un alphabet  $\Sigma$  est une suite finie d'éléments de  $\Sigma$  notée  $s$ . La longueur d'une chaîne  $s$ , notée  $|s|$ , représente le nombre de symboles de  $s$  (par exemple,  $|abba| = 4$ ).

La relation entre un système et sa traduction sous forme de langage peut être comme suit :

- Événement  $\rightarrow$  symbole  $\sigma \in \Sigma$
- Trace  $\rightarrow$  séquence  $s$
- Comportement du système  $\rightarrow$  langage  $L$

Soit  $\Sigma^*$  l'ensemble de toutes les chaînes qui peuvent être formés sur les éléments de  $\Sigma$ , y comprises la chaîne vide  $\varepsilon$ . La concaténation de deux chaînes  $v$  et  $x$  est notée par  $vx$ . Nous disons que la chaîne  $v$  est un préfixe de la chaîne  $vx$ .

### II - 3.2 Langage

On appelle *langage* défini sur un alphabet  $\Sigma$ , tout sous-ensemble de  $\Sigma^*$ . Nous pouvons à présent définir la *préfixe-clôture* (la *fermeture préfixielle*) d'un langage  $L$ , comme le langage contenant tous les préfixes des chaînes de  $L$ . nous noterons par  $\bar{L}$  la préfixe-clôture du langage  $L$ .

$$\bar{L} = \{ s_1 \in \Sigma^* \mid \exists s_2 \in \Sigma^* , s_1 s_2 \in L \}$$

### II - 3.3 Langage préfixe-clos

Un langage  $L$  est *préfixe-clos* (*fermé*) s'il est égal à sa préfixe clôture. C'est-à-dire,  $L$  est préfixe-clos si  $L = \bar{L}$ . Un langage préfixe-clos contient toute l'évolution passée du SED.

Depuis un état  $q$ , l'occurrence de l'événement  $\sigma$  est associée à un changement d'état, l'état courant devient  $q' = \delta(q, \sigma)$ . La relation de transition  $\delta$  peut être étendue pour s'appliquer à une chaîne  $s$  :  $q' = \delta(q, s)$  où  $q'$  est l'état atteint quand la chaîne  $s$  est exécutée depuis l'état  $q$ . Cette dernière équation peut être explicitée : d'une manière générale, si  $s$  est une chaîne et  $\sigma$  un événement

$$\delta(q, s\sigma) = \delta(\delta(q, s), \sigma).$$

Si les concepts de langages sont familiers aux informaticiens, ils le sont nettement moins dans la communauté des automaticiens et d'autres disciplines. De plus, il est souvent difficile de modéliser des SED sous forme de langages, qui s'avèrent trop abstraits pour être utilisés directement.

La mise en œuvre exige de se limiter à certaines classes de langages, pratiquement les langages réguliers.

Il apparaît donc nécessaire d'utiliser pour représenter les SED des modèles intermédiaires tels que les automates, les réseaux de Petri, et Grafocet. Le modèle des SED le plus proche des langages est incontestablement le modèle automate à espace d'états fini, ce qu'on a choisi dans ce mémoire.

### II - 3.4 Automate fini :

Un automate est une machine à états qui permet de décrire le fonctionnement entrées/sorties d'un système à événements discrets. Un automate est représenté par une succession d'états et de transitions, ces dernières sont associées à des événements.

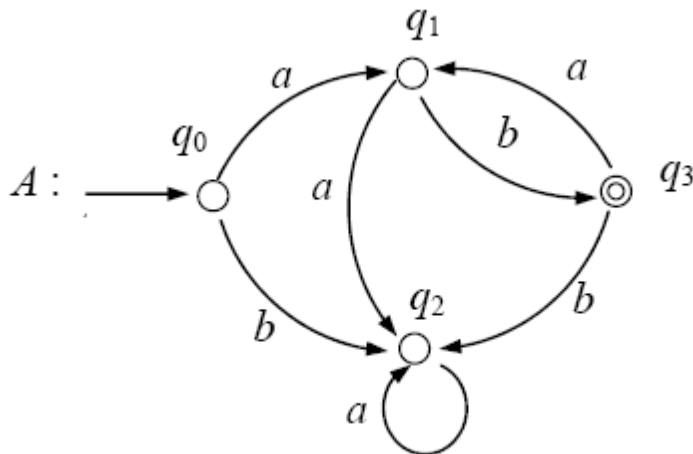
De façon générale, un automate est une machine qui a des entrées et des sorties discrètes et qui réagit à une modification de ses entrées en changeant ses sorties. Formellement un automate fini  $A$  peut être défini de la façon suivante :

#### Définition : 1

Un automate fini  $A$  est un 5-tuplet  $A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$  où :

- $Q$  est l'ensemble fini des états.
- $\Sigma$  est un ensemble fini de symboles d'entrée (ensemble des événements), appelé alphabet d'entrée.
- $\delta$  est la fonction de transition d'états de  $Q \times \Sigma$  vers  $Q$  qui associe un état d'arrivée à un état de départ et à un symbole d'entrée.
- $q_0 \in Q$  est l'état initial.
- $Q_m \subseteq Q$  est l'ensemble des états marqués ou états finaux.

Un automate peut être représenté par son *graphe de transition d'états*. Le graphe de transition d'états d'un automate fini  $A$  est donné dans la Fig. II.1.



**Figure II.1. Graphe de transition d'états d'un automate fini.**

Dans la Fig. II.1, les états de  $A$  sont représentés par des cercles. Nous avons :  $Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3\}$ . L'état initial  $q_0$ , est repéré par une flèche entrante. Les états finaux sont représentés par des doubles cercles, ainsi :  $Q_m = \{q_3\}$ . La fonction  $\delta$  de transition d'états est représentée par des arcs associés à des symboles de l'alphabet  $\Sigma$ . Dans notre exemple, l'alphabet  $\Sigma$  correspond à l'ensemble  $\{a, b\}$ . Il existe une transition d'états associée au symbole "a" entre  $q_0$  et  $q_1$ . Cela signifie :  $\delta(q_0, a) = q_1$ .

- Un état  $q \in Q$  est dit accessible s'il existe une chaîne  $s \in \Sigma^*$  telle que  $q = \delta(q_0, s)$ , c'est-à-dire que l'automate peut y accéder depuis l'état initial. Par extension, l'automate  $A$  est accessible si tout état  $q \in Q$  est accessible.

- Un état  $q \in Q$  est dit co-accessible s'il existe une chaîne  $s \in \Sigma^*$  telle que  $\delta(q, s) \in Q_m$ ,

c'est-à-dire qu'à partir de cet état l'automate peut atteindre un état marqué. Par extension, l'automate  $A$  est co-accessible si tout état  $q \in Q$  est co-accessible.

Selon que l'on implique les états marqués ou non marqués, l'automate  $A$  définit deux classes importantes de langages :  $L(A)$  ou  $L_m(A)$ .

### II.3.5 Langage généré d'un automate fini

Le langage généré par un automate fini  $A$  est donné par :

$$L(A) = \{s \in \Sigma^* \mid \delta(q_0, s) \in Q_m\}$$

Ce langage représente l'ensemble de toutes les chaînes qui permettent de rejoindre un état quelconque de l'automate à partir de son état initial. Donc le langage généré par un automate est toujours préfixe-clos  $\bar{L}(A) = L(A)$ .

### II.3.6 Langage marqué d'un automate fini

Le langage marqué d'un automate fini  $A$  est donné par :

$$L_m(A) = \{s \in \Sigma^* \mid \delta(q_0, s) \in Q_m\}$$

Ce langage représente l'ensemble de toutes les chaînes qui permettent de rejoindre un état marqué à partir de l'état initial. De telles chaînes sont appelées *tâches*. Cette définition implique que  $L_m(A) \subseteq L(A)$ , puisque  $Q_m \subseteq Q$ .

### II.3.7 Opérations sur les automates et les langages

On considère deux langages  $L_1$  et  $L_2$  construits sur un même alphabet  $\Sigma$ . L'intersection de  $L_1$  et  $L_2$  est définie sur  $\Sigma$  par :

$$L_1 \cap L_2 = \{s \mid s \in L_1 \text{ et } s \in L_2\}$$

$L_1 \cap L_2$  désigne le langage contenant toutes les chaînes qui appartiennent à la fois à  $L_1$  et à  $L_2$ .

L'union de  $L_1$  et  $L_2$  notée,  $L_1 \cup L_2$  est le langage contenant toutes les chaînes qui sont soit contenues dans  $L_1$ , soit contenues dans  $L_2$ . Formellement le langage,  $L_1 \cup L_2$  est défini sur  $\Sigma$  par :

$$L_1 \cup L_2 = \{s \mid s \in L_1 \text{ ou } s \in L_2\}$$

La concaténation de  $L_1$  et  $L_2$  est défini sur  $\Sigma$  par :

$$L_1 L_2 = \{s \mid s = uv, u \in L_1 \text{ et } v \in L_2\}$$

Le modèle automate, ainsi que sa relation avec les langages ont été exposés. Il existe plusieurs opérations réalisables sur les automates. Le plus important, notamment pour la synthèse du superviseur est probablement la composition d'automates.

### II.3.8 Composition d'automates

Il existe deux sortes de compositions :

- *la composition synchrone*, qui est effectuée quand les alphabets des langages associés aux automates considérés ont au moins un événement en commun.

• *La composition asynchrone*, qui est réalisée quand les alphabets des langages associés aux automates considérés n'ont aucun événement en commun.

Soient deux automates  $A_1$   $A_2$  définis respectivement par :

$$A_1 = (Q_1, \Sigma_1, \delta_1, q_{01}, Q_{m1}) \text{ et par } A_2 = (Q_2, \Sigma_2, \delta_2, q_{02}, Q_{m2})$$

La composition synchrone de  $A_1$  et de  $A_2$  est notée

$$A_1 \parallel_s A_2 = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m) \text{ où :}$$

- $Q = Q_1 \times Q_2$  est l'ensemble des états.
- $\Sigma = \Sigma_1 \cup \Sigma_2$  représente l'alphabet.
- $q_{01} \times q_{02}$  est l'état initial.
- $Q_m = Q_{m1} \times Q_{m2}$  est l'ensemble des états marqués
- Pour tout  $q = (q_1, q_2) \in Q$ , pour  $\sigma \in \Sigma$ , la relation de transition est telle que :

$$\delta_{1 \parallel_s 2}(q, \sigma) = \left. \begin{array}{l} \delta_1(q_1, \sigma) \times \delta_2(q_2, \sigma) \text{ si } \delta_1(q_1, \sigma) \neq \emptyset \wedge \delta_2(q_2, \sigma) \neq \emptyset \\ \delta_1(q_1, \sigma) \times \{q_2\} \text{ si } \delta_1(q_1, \sigma) \neq \emptyset \wedge \sigma \notin \Sigma_2 \\ \{q_1\} \times \delta_2(q_2, \sigma) \text{ si } \delta_2(q_2, \sigma) \neq \emptyset \wedge \sigma \notin \Sigma_1 \\ \emptyset \text{ sinon} \end{array} \right\}$$

Si un événement  $\sigma$ , appartient à  $\Sigma_1 \cap \Sigma_2$ , il doit se produire de manière synchrone dans les deux automates, par contre, s'il n'appartient qu'à un ensemble, il se produit de manière asynchrone.

La composition asynchrone peut être vue comme un cas particulier de la composition synchrone. La composition asynchrone de  $A_1$  et de  $A_2$  est notée  $A_1 \parallel_a A_2 = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$  où les notations sont identiques aux précédentes, La relation de transition, pour tout  $q = (q_1, q_2) \in Q$ , et pour tout  $\sigma \in \Sigma$ , est définie par :

$$\delta_{1 \parallel_a 2}(q, \sigma) = \left. \begin{array}{l} \delta_1(q_1, \sigma) \times \{q_2\} \quad \text{si } \delta_1(q_1, \sigma) \neq \emptyset \wedge \sigma \notin \Sigma_2 \\ \{q_1\} \times \delta_2(q_2, \sigma) \quad \text{si } \delta_2(q_2, \sigma) \neq \emptyset \wedge \sigma \notin \Sigma_1 \\ \emptyset \quad \text{sinon} \end{array} \right\}$$

La modélisation des SED réels est généralement difficile à mettre en œuvre du fait de l'explosion combinatoire du nombre d'états (même dans les petits systèmes) et même si les automates apparaissent comme un formalisme approprié permettant de modéliser efficacement une large classe de systèmes à événements discrets.

### II.3.9 Réduction d'automates d'états finis

Soit  $A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$  un automate d'états finis. On se propose de réduire  $A$  et de construire l'automate minimal équivalent à  $A$ .

1)- Eliminer tous les états inaccessibles dans  $A$ .

Entrée  $A = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$

Sortie  $A' = (Q', \Sigma', \delta', q_0', Q_m')$

2)- Regrouper les états équivalents dans une classe d'états  $\beta_i$  (On dit que deux états sont équivalents si ces états permettent d'atteindre un état final à travers le même mot.).

3)- On utilisant ce regroupement on construit une famille de congruence noté  $\beta_{i \in \mathbb{N}}$

- L'initialisation  $\beta_0$  est faite à travers la définition de regroupement en remarquant que l'on a d'abord deux grandes classes d'états distinctes et complémentaires, la classe des états finaux et les autres. La classe  $\beta_i$  est déterminée à partir de la classe  $\beta_{i-1}$  et lorsque deux classes successives sont identiques, on arrête la construction des classes ( le regroupement) car c'est toujours cette même dernière classe qui sera alors obtenue.

Remarque

L'automate  $A'$  est définie par

L'alphabet  $Q'$  est exactement  $Q$ .

Le nouvel état initial est la classe  $\beta_0$  qui contient l'état initial de départ.

Les nouveaux états finaux sont toutes les classes qui contiennent les états finaux de départ.

La fonction de transition  $\delta'$  sera obtenue en définissant chaque nouvel état sur les différentes lettres de  $Q' = Q$ .

La méthode de minimisation d'un automate donné est une méthode rigoureuse et elle permet de produire ainsi un automate d'états finis dit automate minimal strictement équivalent à l'automate de départ.

## **II. 4 Conclusion**

Ce chapitre a présenté quelques notions essentielles sur les SED. Un SED peut être modélisé par un langage, et si ce dernier est régulier, il est possible de construire un automate dont le langage sera précisément celui qui décrit le comportement du SED. Ce SED est également caractérisé par l'accomplissement de certaines tâches, il est donc aussi décrit par le langage marqué de l'automate.

Les automates peuvent être utilisés dans la modélisation des SED. Lorsque le SED est décrit par plusieurs automates élémentaires, l'opération de composition (synchrone ou asynchrone) est alors nécessaire pour modéliser le comportement global du système.

Le problème de la sûreté de fonctionnement des systèmes est vaste, c'est pourquoi les techniques reposent sur des connaissances diverses et varient considérablement entre elles. Les systèmes de supervision avancés évoluent de telle façon qu'ils combinent la technologie algorithmique avec des techniques d'intelligence artificielle afin de fournir une meilleure coopération entre les humains et le système. Les systèmes de surveillance avancés doivent analyser et interpréter ainsi de grandes quantités de données, en appliquant une grande diversité de méthodes, chacune adaptée à la situation des sous-systèmes.

Afin de coordonner l'application de cette diversité de techniques, la construction de systèmes de commande et de supervision avancés doit considérer l'utilisation de techniques de développement de logiciels intrinsèquement "sûrs", afin d'éviter une augmentation de la complexité du système.

# CHAPITRE III

# LA SUPERVISION

### III LA SUPERVISION

#### III.1. Introduction

L'automatisation de plus en plus poussée des industries manufacturières avait pour objectif d'améliorer la productivité, d'éviter de développer un nouveau système de contrôle à chaque nouvelle application mais aussi d'améliorer la réactivité face à tous les changements. C'est la raison pour laquelle les industries se sont orientées vers les outils informatiques et les outils de supervision.

La supervision est une technique de pilotage et de suivi informatique de procédés industriels automatisés. Elle concerne l'acquisition de données (mesures, alarmes, retours d'état de fonctionnement) et de paramètres de commande des processus généralement confiés à des automates programmables.

La supervision des processus industriels permet d'accroître la productivité et de diminuer le coût d'entretien par l'amélioration de la disponibilité des systèmes de production. Elle permet donc de rapporter et d'alerter les fonctionnements normaux et anormaux et répond à deux préoccupations ; **Technique** (pilotage de l'infrastructure et des machines, surveillance du réseau et mesure des performances...) **Applicative** (surveillance des applications et des processus métiers...)

Dans ce chapitre nous nous intéressons par l'aspect supervision des systèmes de productions où nous allons présenter sa définition, sa position dans le système pilotage et ses principaux outils. Nous allons aussi présenter la relation entre la surveillance et le diagnostique d'une part et la supervision de l'autre part.

#### III.2. Quelques définitions de la supervision

Dans [12](Combacau *et al.*, 2000) la supervision est définie par une fonction qui doit contrôler l'exécution d'une opération ou d'un travail effectué par d'autres entités sans rentrer dans les détails de cette exécution. Elle joue des rôles différents selon que l'on est en fonctionnement normal ou anormal de l'exécution :

➤ dans le cas de fonctionnement normal, elle prend les dernières décisions en temps réel correspondant aux degrés de liberté exigés par la flexibilité décisionnelle. Dans ce cas, il est nécessaire de faire de l'ordonnancement en temps réel, de l'optimisation, de modifier en ligne les algorithmes de commande et de surveillance ;

➤ dans le cas de fonctionnement anormal, comme l'apparition d'une défaillance, elle prend les décisions nécessaires pour assurer le retour vers un fonctionnement normal. Elle va choisir une solution curative, effectuer des ré-ordonnancements, déclencher les procédures d'urgence, etc.

D'après [10](Cimax, 98) et [15](Exera, 96), la supervision permet de visualiser en temps réel l'état d'évolution d'une installation automatisée, afin que l'opérateur puisse prendre, le plus vite possible, les décisions permettant d'atteindre les objectifs de production.

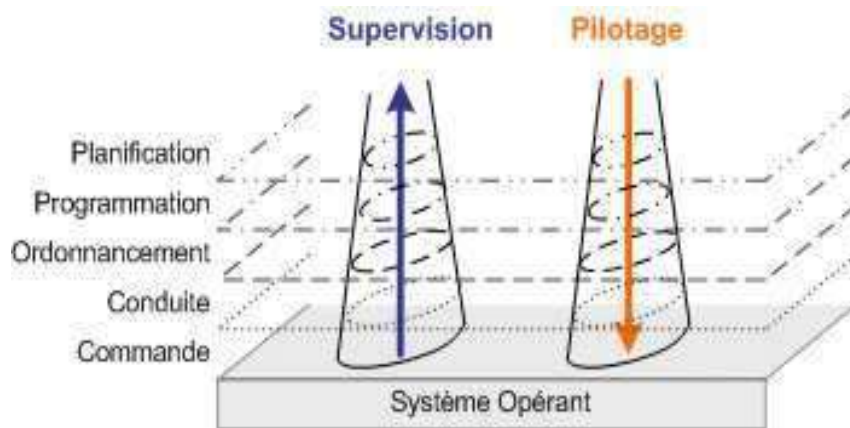
D'après [8](CETIM, 94), les principaux objectifs de la supervision, dans le cas des processus de fabrication consistent à :

- modifier les caractéristiques de coupe en fonction de l'état de l'outil.
- réagir en temps réel.
- participer au maintien des cadences de production à leur niveau optimal.
- permettre la reconfiguration des paramètres de fonctionnement.
- assurer un certain niveau de disponibilité.
- faciliter le diagnostic de pannes pour optimiser les tâches de maintenance.

De ces définitions de la supervision, nous pouvons dire que la fonction supervision dans la production a un rôle décisionnel d'optimisation. Elle s'appuie sur la collecte de données issues du système physique et traite en temps réel les données collectées pour qu'elles soient utilisables pour la procédure de prise de décision.

### **III.3. Positionnement de la supervision dans le pilotage**

Il existe diverses interprétations des deux termes « supervision » et « pilotage ». Ceci nous amène à préciser rapidement leurs fonctionnements et leur positionnement dans la production. La supervision et le pilotage sont deux fonctions du système de décision dans un système de production dont les rôles sont inverses mais complémentaires, ce qui apparaît d'après des travaux de [2](Aléonard C *et al.*, 94) et ce qu'illustre la figure Fig III.1 tirée des travaux de [27](Pujo et Kieffer, 02)



**Fig III.1 : Positionnement de la supervision et du pilotage par rapport aux principales fonctions**

Le rôle de la supervision consiste à construire des informations représentant l'état du système opérant à l'aide d'agrégations successives d'informations et ceci en adéquation avec chacun des niveaux de décision. Les deux fonctions du pilotage et de la supervision sont souvent utilisées de manière intégrée, notamment si l'une des deux apparaît moins complexe. Le rôle du pilotage est de mettre en œuvre les fonctions qui permettront d'atteindre les objectifs de production et qui permettront le contrôle-commande sûr et réactif d'un système de production.

Nous présentons ici le positionnement de la supervision par rapport aux fonctions temps réel pour la mise en œuvre du pilotage au moment de l'exécution, la surveillance et à la maintenance.

- la fonction « surveillance » est constituée d'un ensemble de fonctions s'exécutant en temps réel et ayant pour but de reconstituer l'état réel du procédé au sein de modèles utilisés par le système de conduite de l'atelier [30](Toguyeni *et al.*, 2002). La fonction surveillance fournit donc des indicateurs pertinents à la supervision et maintient l'état de différents modèles au plus près de la réalité, pour qu'ils servent de support aux prises de décision pour la conduite réactive d'un atelier,

- la fonction « maintenance » se charge de conserver au parc de ressources un niveau de performance compatible avec les objectifs de production [23](Ly *et al.*, 2000 ). Dans tous les types de maintenance, le déclenchement d'une opération de maintenance est un processus décisionnel qui se base sur l'état mesuré ou estimé des ressources. Ces décisions doivent être prises de manière cohérente avec celles de la supervision, au même titre que les décisions de reconfiguration de l'outil de production.

Dans un système complexe, la supervision doit être hiérarchisée comme les fonctions de pilotage. La hiérarchisation de la supervision d'un système de production du point de vue de [8](CETIM, 1994) est réalisée à trois niveaux :

(i) au premier niveau, constitué de la machine et de sa commande, la supervision valide en temps réel les signaux acquis à partir d'une détection comme une panne. Les informations de panne seront envoyées à la commande et ensuite seront envoyées vers le niveau supérieur pour un diagnostic plus profond ;

(ii) au second niveau, la supervision considère l'ensemble des machines d'un atelier. Les informations issues du premier niveau sont interprétées et un diagnostic plus poussé est élaboré. Les résultats sont présentés à l'opérateur qui entreprend des actions en conséquence.

À ce niveau, la supervision peut être en interaction avec la planification, ce qui permet de générer des actions vers le premier niveau ;

(iii) au troisième niveau, enfin, la supervision alimentée par la gestion de production rend compte des informations nécessaires à la gestion, l'ordonnancement de la production, la maintenance, etc.

#### **III.4. La surveillance et le diagnostic dans le cadre de la supervision**

De manière générale, la supervision correspond à l'action de surveiller un système, afin de prendre des actions nécessaires si le système est hors de l'objectif de commande. De manière simple : la surveillance consiste à détecter le comportement présent du système en différenciant entre plusieurs états (normal et défaillants) du processus et le diagnostic est l'identification de la nature d'un dysfonctionnement, d'une difficulté. On peut considérer aussi le diagnostic comme l'identification des causes des divers modes des processus, on inclut non seulement les modes de fonctionnement normal mais aussi les modes de défaillances, qui correspondent aux différents états que peut prendre un procédé affecté par une panne ou un dysfonctionnement, états qui sont beaucoup plus difficiles à prévoir [16](GEN07).

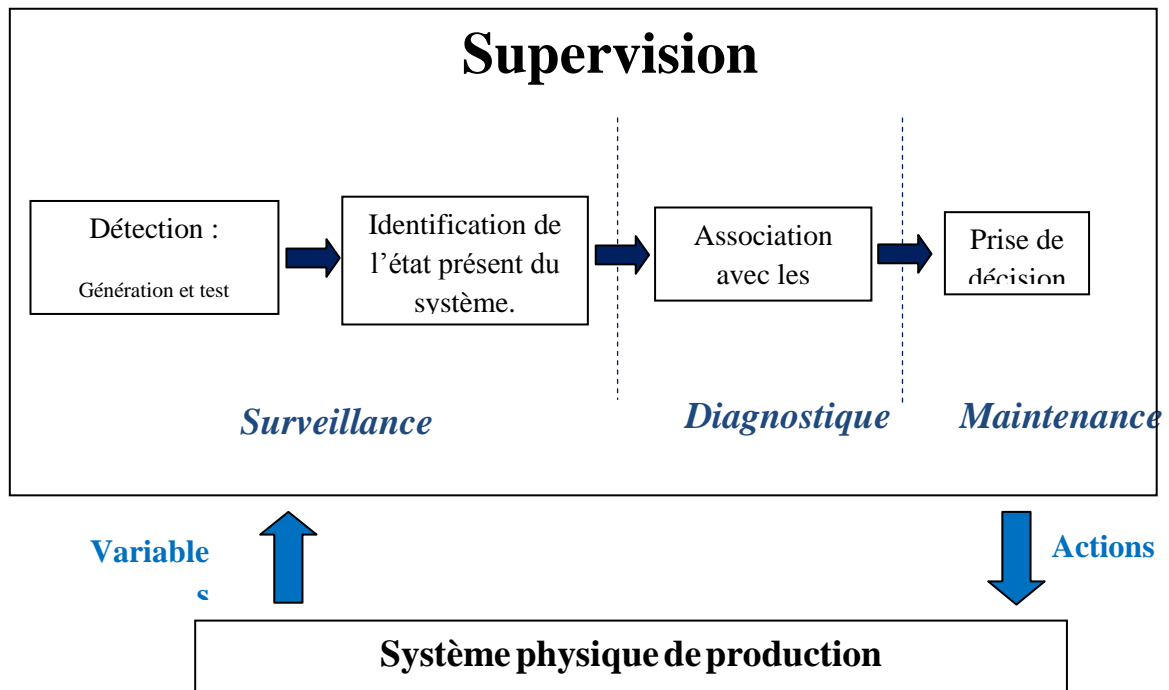
Dans ce contexte, il est important de définir quelques concepts associés à la supervision des processus [18](HER06) :

- *Fonctionnement normal d'un système.* Un système est dit dans un état de fonctionnement normal lorsque les variables le caractérisant demeurent au voisinage de leurs valeurs nominales. Le système est dit défaillant dans le cas contraire.
- *Une défaillance* est la cause d'une anomalie.
- *Une dégradation* d'un procédé caractérise le processus qui amène à un état défaillant du procédé.
- *Un défaut* se définit comme une anomalie du comportement d'un système sans forcément remettre en cause sa fonction.
- *Une panne* caractérise l'inaptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Un système est toutefois généralement considéré en panne dès l'apparition d'une défaillance.
- *Un symptôme* est l'événement ou l'ensemble de données au travers duquel le système de détection identifie le passage du procédé dans un fonctionnement anormal. C'est le seul élément que doit connaître le système de surveillance au moment de la détection d'une anomalie.

Le défaut est constaté grâce à un indicateur de défaut, il révèle la présence d'une défaillance. L'indicateur de défaut est en pratique élaboré grâce aux variables mesurées de l'installation [16](GEN07).

Cet indicateur permet de détecter l'état présent du système et dans le cas de défaillance permet d'estimer les causes du problème.

Un schéma de supervision figure **Fig III.2** inclut les tâches pour détecter l'état du système (surveillance), estimer les causes (diagnostic) et les tâches de corrections si le système s'écarte du point de fonctionnement (maintenance) [16](GEN07).



**Fig III.2 : Schéma général des tâches d'un système de supervision**

### III.5. Outils de supervision dans l'industrie

L'intégration des superviseurs dans les systèmes industriels a permis d'appliquer les concepts de surveillance, de diagnostic et d'optimisation assistés par ordinateur dans les ateliers de production. La supervision a d'abord été réalisée par les opérateurs humains qui prenaient connaissance des données en temps réel dans leurs secteurs. Ensuite, un responsable de niveau hiérarchique plus élevé recevait des informations agrégées sur le fonctionnement de l'atelier. Le développement de la supervision a aussi amené l'apparition des salles de contrôle avec des tableaux représentant une vue synoptique de l'atelier et des indicateurs concernant l'état des processus. Ultérieurement, cette représentation est devenue plus accessible et facile d'utilisation. A sa demande, l'opérateur peut acquérir les informations utiles en jouant avec une multitude de vues sur des écrans plus petits. Par la suite, d'autres fonctionnalités ont été intégrées dans cet outil, comme la gestion des alarmes, l'historique des données, l'enregistrement des anomalies, etc.

Parmi les outils de supervision du marché les plus souvent utilisés, citons : Intouch 5 (Wonderware), Monitor OCS (Schneider), Os 520M (Siemens), Panorama (Codra, Europ Supervision), Fix MMI (Intellution), PC Vue32 (Arc Informatique), Wizcon (PC Soft International), Genesis (Iconics), Factory Link (Usdata).

### III.6. Principales fonctionnalités des outils de supervision

Actuellement, les outils de supervision sont utilisés par la plupart des industries manufacturières pour leurs fonctions intégrées dont les principales sont : la gestion d'une base de données temps réel, la communication, l'archivage des données, le gestionnaire d'alarmes, la fonction vue synoptique (graphique) et la fonction de calcul.

#### III.6.1. Gestion d'une base de données temps réel

Cette fonction est la fonction essentielle d'un superviseur. Cette base de données doit être gérée en temps réel sur toutes les données de différentes natures requises. Ces données peuvent être liées directement à des équipements physiques, aux résultats d'un module de calcul intégré dans le superviseur, liées à d'autres applications, etc. En général, ces données sont réparties en deux types de variables *externes* ou *internes* qui peuvent être enregistrées sous différentes formes [Bouazdi et Renault, 1994] : *hiérarchisée* (relation dite 1-n entre les variables), *relationnelle* (relation n-n entre les variables) et *définie* (variables déclarées mais sans relation entre elles). Cette base de données peut réaliser le rafraîchissement des données requises de différentes manières :

- *cyclique* (ou périodique, la période peut être définie par l'utilisateur),
- *cyclique paramétrable* (le rafraîchissement porte sur une partie de la base de données),
- *flash* (rafraîchissement au moment de l'appel),
- *sélectif* (rafraîchissement lors de l'apparition à l'écran),
- *exception* (rafraîchissement uniquement des variables qui ont changé d'état).

S'il est trop fréquent, le rafraîchissement cyclique peut diminuer la caractéristique de réactivité d'un système. Le rafraîchissement sur exception permet de diminuer les temps de communication et d'appel, mais il nécessite d'utiliser un élément pour détecter les changements d'état (exemple : un serveur de communication. ) afin d'acquérir les données non obtenues dans la supervision.

#### III.6.2. Communication

Cette fonction est une fonction fondamentale notamment pour les industries automatisées et difficile à réaliser, car les communications sont multiples. D'après [30](Toguyeni *et al.*, 2002), la communication est possible sous différentes formes:

- ❖ *local au poste de supervision* : les principales techniques de liaisons utilisées pour les communications locales sont : DDE “*Dynamic Data Exchange*”, DLL “*Dynamique Link Library*” et OLE “*Object Linking and Embedding*”,
- ❖ *externes avec les équipements industriels* : un noyau de communication est intégré dans l’outil de supervision ; il peut utiliser différentes interfaces physiques pour atteindre les autres équipements,
- ❖ *communication avec la base de données* : avec une base de données partagée entre toutes les fonctions à laquelle le superviseur est capable d’accéder pour écrire ou lire les informations utiles. Le langage SQL est utilisé pour consulter les bases de données.
- ❖ *entre différents composants de la supervision* : les concepts les plus utilisés pour communiquer et distribuer les modules de supervision sont : COM/DCOM, CORBA et le serveur OPC [OPC, 2001]. OPC, qui signifie « *OLE for Process Control* » [OPC, 2001], est une extension particulière des techniques d’échange OLE. OPC est un logiciel interface standard qui permet au système exploitation Windows de communiquer avec les équipements industriels. L’avantage est de fournir une plateforme unique et standard d’échange entre différents équipements de fabrications. Cet outil permet aussi de filtrer des alarmes, horodater les informations et les données, etc.

### III.6.3. Gestionnaire d’alarmes

Certaines variables de base de données temps réel sont associées à des alarmes qui indiquent une situation anormale dans le système. A ce moment, l’opérateur est informé qu’une variable dépasse une valeur ou une plage de valeurs prédéfinies comme normales, pour prendre une valeur anormale. Les alarmes sont souvent hiérarchisées en plusieurs niveaux pour renseigner l’opérateur selon l’importance des risques et le délai.

### III.6.4. Archivage des données

Les changements d’état et les mesures peuvent être sauvegardés de manière cyclique ou événementielle afin de visualiser par exemple les courbes de tendance, de réutiliser les données archivées ou de faire des analyses plus fines.

### **III.6.5. Fonction vue synoptique/traitement graphique**

Les outils de dessin intégrés dans la supervision permettent de visualiser une vue synoptique évoluée. Cela facilite la réutilisation des composants graphiques d'une application à l'autre et réduit les délais de développement et les risques d'erreur.

Nous avons vu les fonctionnalités principales de la supervision. Cependant, quand la supervision se situe dans la conduite ou le pilotage d'un système complexe, elle nécessite des fonctions plus complexes. La plupart des superviseurs industriels actuels ne disposent pas de formalismes pour les traitements événementiels et réactifs. Ceci est assuré de plus en plus par les logiciels de type MES « *Manufacturing Execution System* », qui assurent différentes fonctions.

### **III.7. Conclusion**

Ce chapitre a été consacré à la description générale de la notion supervision et plus précisément la supervision des systèmes de productions automatisés. Nous avons alors présenté ses définitions les plus rencontrées et les plus utilisées. Ensuite nous avons mis l'accent sur la position de la supervision dans le pilotage du système de production. Nous avons montré aussi la relation qui existe entre les deux aspects ; le diagnostique et la surveillance et la supervision. Enfin nous avons donné un aperçu sur les outils utilisés dans la fonction supervision avec leurs principales fonctionnalités.

# **CHAPITRE IV**

## **CONCEPTION D'UN SUPERVISEUR DANS UN SYSTÈME AUTOMATISÉ DE PRODUCTION**

## IV Conception d'un superviseur dans un système automatisé de production

### IV 1 Introduction

La supervision en temps réel des systèmes automatisés de production flexible exigent de prendre en considération les éléments suivants :

1/la capacité technologiques des ressources et la flexibilité associés au traitement des pièces dans le système

2/les opérations permettant de sortir d'une impasse

3/les défaillances de ressources au cours de traitement de pièces

. L'annulation des impasses dans les systèmes automatisés de production a été étudiés par de nombreuses recherches en utilisant des modèles basés sur la combinaison de la programmation des entiers tel que : Les réseaux de Pétri, les automates finis et autre approche de théorie de graphe.

Plusieurs politiques de contrôle ont été proposées avec divers degrés de permissivité

La flexibilité associée aux pièces et aux ressources dans la cellule a été étudiée dans le concept nommé flexibilité de routage. Dans la plus part des approches de planification des systèmes flexibles de production, le chemin voulu de pièces est connue d'avance (est déterminé auparavant) et pendant le fonctionnement, chaque type de pièce à une seule voie (chemin) à travers le système.

Une planification fixe des chemins de pièce n'est pas très robuste face aux perturbations rencontrées dans le système en temps réel telle que les pannes machines et d'autres événements aléatoires qui peuvent faire échouer l'objectif de l'ordonnancement

\*Le problème des défaillances de ressources dans les systèmes flexibles de production a été étudié principalement du point de vue d'analyse des performances.

La conception des superviseurs qui peuvent accueillir des perturbations en temps réel à reçue peut d'attention, le travail présenté dans ce mémoire est une continuation des efforts précédant au développement des procédures systématiques pour générer automatiquement le maximum possible des superviseurs exempts de blocage pour les systèmes flexibles de production.

Dans les procédures systématiques basées sur des automates finis, les formalismes sont décrits pour générer un contrôleur en temps réel pour les systèmes automatisés de production. Autre différents formes des contrôleurs dans la littérature séparent les modèles des cellules automatisés de production et les modèles de spécification qui représentent le temps de traitement de pièce par machin dans la cellule.

Les modèles des automates à état finie tendent d'augmenter le volume de données dans le système .Le nombre d'état dépend de la taille de la cellule (nombre de machine) et le nombre de chemin de chaque pièce (nombre d'opération à effectuer sur les pièces) décrivent la taille du problème.

## IV-2 Description du superviseur

La description du superviseur est basée sur la démarche mis en place par [31]( Ramadge et Wanhan) pour la modélisation et le control des systèmes à évènement discret. La cellule manufacturière et les exigences d'usinage de pièce (spécification) sont modélisés séparaiment, le superviseur sera le couplage des deux modèles (modèle de la cellule –modèle de la spécification)

## IV 3 Le model de la cellule de fabrication

Considérons un système manufacturier présent une cellule de production conformément à la figure Fig 4.1 schéma de la cellule

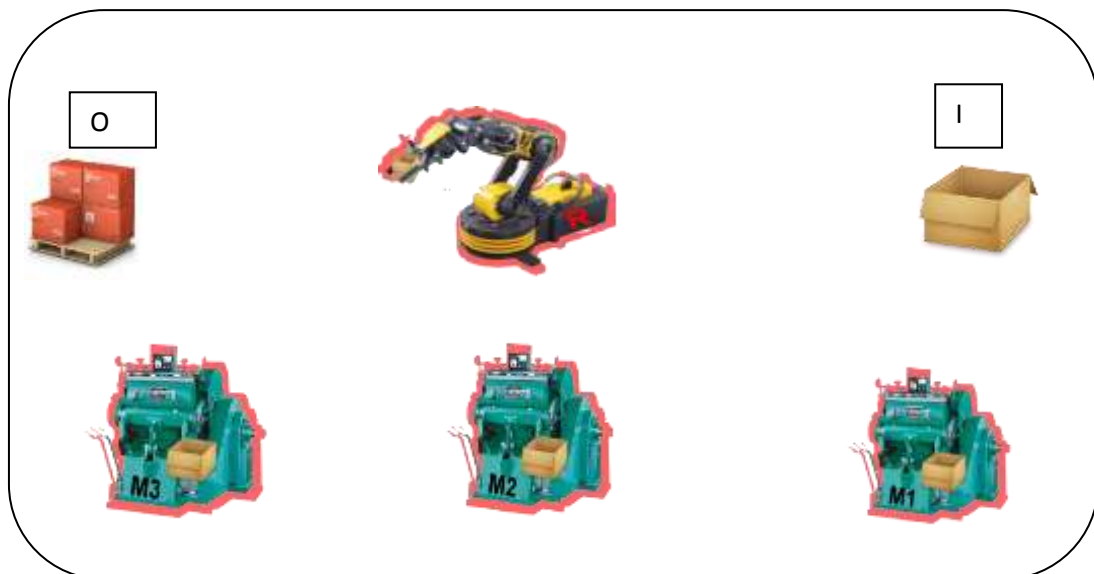


Fig 4.1 schéma de la cellule

qui se compose de trois machines M1,M2,M3 et un robot « R » qui charge et décharge les machines ainsi la cellule elle même par le biais de deux tampons un tampon d'entree « I » et un tampon de sortie « O ».

La cellule est modélisée par l'automate fini G tel que

$G=(\Sigma, Q, \delta, q_0, Q_m)$  ; qui représente le processus incontrôlé

Le graphe de transition pour cette cellule est présenté dans la figure Fig 4.2

Les états de ce graphe de transition sont représentés par des mots de quatre lettres qui indiquent l'état des quatre ressources de la cellule, M1, M2, M3 et R comme inactif (idle) (i) ou occuper (busy) (b) [(i i b b cet état indique que la machine M1 est inactive ainsi que la machine M2 mais la machine M3 et le robot R sont occupés. ]

Pour cet exemple de graphe l'alphabet fini des événements est  $\Sigma=\{IR, RM1, M1R, RM2, M2R, RM3, M3R, RO\}$  ces événements décrivant les mouvements du robot, qui peuvent être contrôlés par un superviseur qui permet ou non l'accès aux événements par le robot.

### Représentation de l'automate G

L'ensemble des états du graphe présenté par Q est :

$Q = \{iiii, iiib, iibi, iibb, ibii, ibib, ibbi, ibbb, biii, biib, bibi, bibb, bbii, bbib, bbbi\}$ .

$\delta: Q \times \Sigma \longrightarrow Q$  : et la fonction de transition.

$q_0 = \{iiii\}$  est l'état initial

$Q_m = \{iiii\}$  est l'ensemble des états finaux.

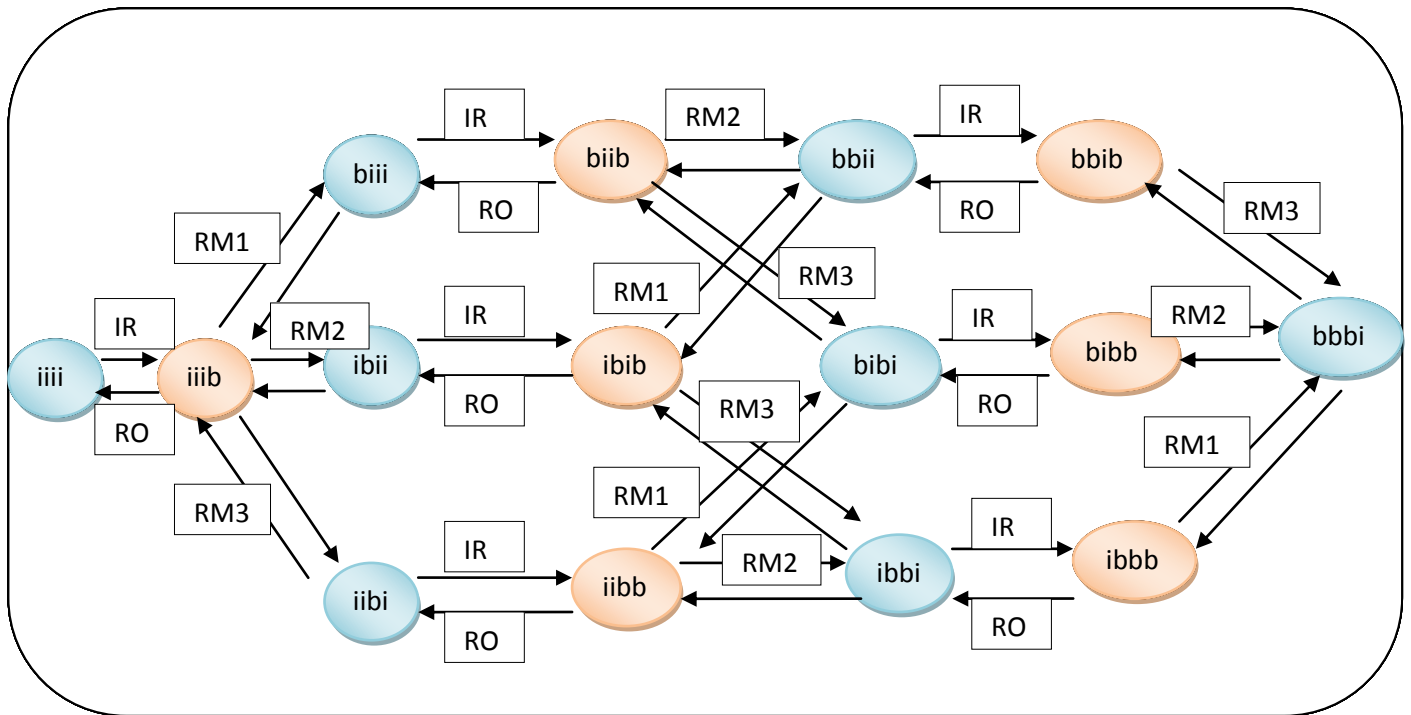


Fig4.2 Le graphe de transition de l'automate G

#### IV 4 Synthèse du modèle d'exigences

. Le modèle des exigences est synthétisée par synchronisation (noté par |) des différents modèles des automates finis des plans d'exécution des pièces dans la cellule. Le modèle de chaque plan des chemins décrit explicitement les voies possibles qu'une pièce peut prendre pour son traitement complet.

La figures Fig4.3 décrit un exemple d'un système manufacturier de trois machines M1, M2 et M3 qui traitent deux types de pièces A et B

Nous allons utiliser cet exemple tout au long de ce chapitre.

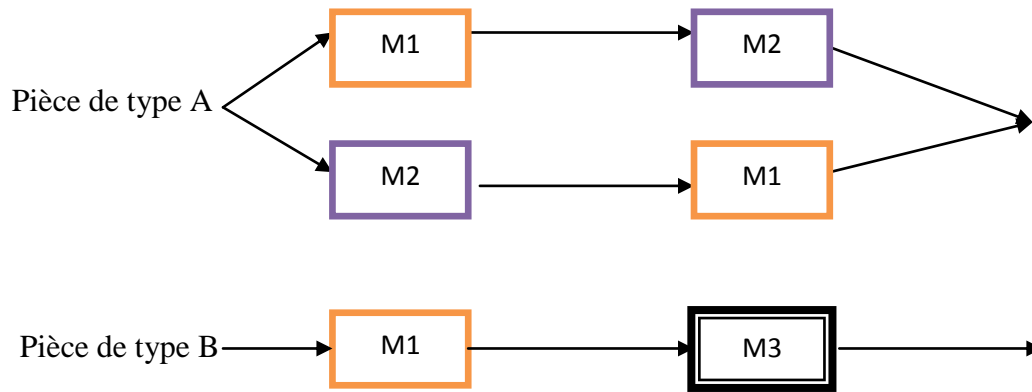


Figure Fig4.3 : plan d'exécution des deux types de pièces.

Modélisation du procédé

Le procédé est supposé évaluer de façon spontanée en générant des événements.

Chaque pièce de ce procédé peut être modélisée par un automate. Le graphe de transition de l'automate des pièces de type A et B (modèle de pièces) est représenté dans la figure Fig 4.4

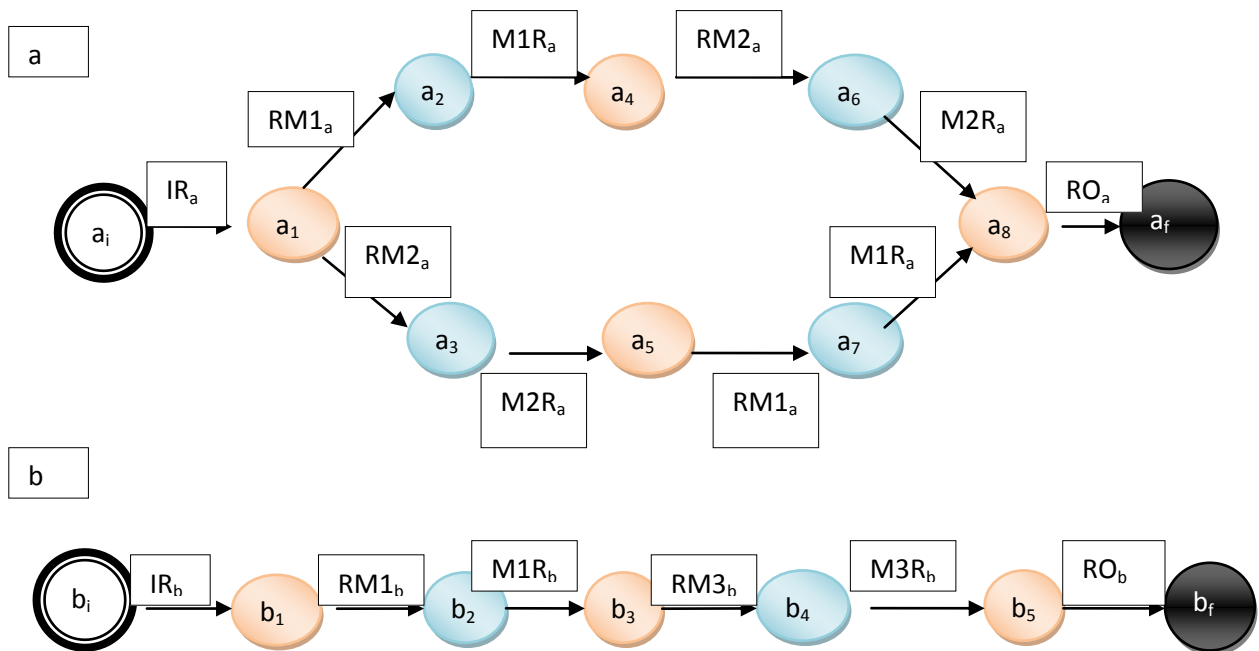


Fig4.4 :Graphe de transition des modèles d'automate fini pour pièces de type A et type B.

Considérons la pièce de type A (voir figure Fig 4.4 a). Dans son état initial (état  $a_i$ ) la pièce se trouve dans le tampon d'entrée I. L'évènement IR modélise le début de traitement de la pièce A qui sera prélevée par le Robot du tampon d'entrée I (état  $a_1$ ). L'évènement RM1 modélise le début de traitement de la pièce A par la machine M1 après avoir été déposée par le robot (état  $a_2$ ). Dans notre exemple, nous supposons que les évènements IR et M\*R sont simultanés avec la prise d'une pièce en amont (chargement du Robot à partir du tampon d'entrée ou d'une machine M\* avec  $*=\{1,2,3\}$ ). De même, les évènements RM\* et RO sont simultanés avec le dépôt d'une pièce en aval (déchargement du Robot vers une machine M\* ou le tampon de sortie O).

Notons respectivement  $\Sigma_1$  et  $\Sigma_2$  les alphabets des types de pièces A et B.

Nous avons :  $\Sigma_1 = \{ IR_a, RM1_a, RM2_a, M1R_a, M2R_a, RO_a \}$

$$\Sigma_2 = \{ IR_b, RM1_b, RM3_b, M1R_b, M3R_b, RO_b \}$$

Le fonctionnement du système de production est alors défini sur un alphabet  $\Sigma = \Sigma_1 + \Sigma_2$

Un modèle d'automate de notre système de production peut être obtenu en effectuant le composé asynchrone des modèles A et B.

Le modèle S défini par  $S = A \parallel B$  avec  $S = (\Sigma, X, \xi, x_0, X_m)$  est représenté par son graphe de transition d'états dans la figure Fig4.5.

Dans l'automate S, un état est un couple  $(a_i b_j)$  où  $a_i$  est un état de A et  $b_j$  est un état de B.

Le modèle des exigences sera un autre modèle d'automate fini quand de nouvelles pièces sont expédiées vers la cellule. L'ensemble d'états du modèle S indique à chaque instant la position des pièces dans la cellule, A un moment la pièce A est encore en traitement dans la machine M1 et la pièce B est entrée dans la cellule "( placé dans le tampon d'entrée) pour le traitement, l'état qui indique cette position est  $a_2 b_i$ . Les états initiaux du modèle de l'automate fini pour les pièces A et B sont  $a_i$  et  $b_i$ , respectivement.

La synchronisation des graphes de transition des deux pièces nous donne tous les états possibles voir la figure Fig 4.5

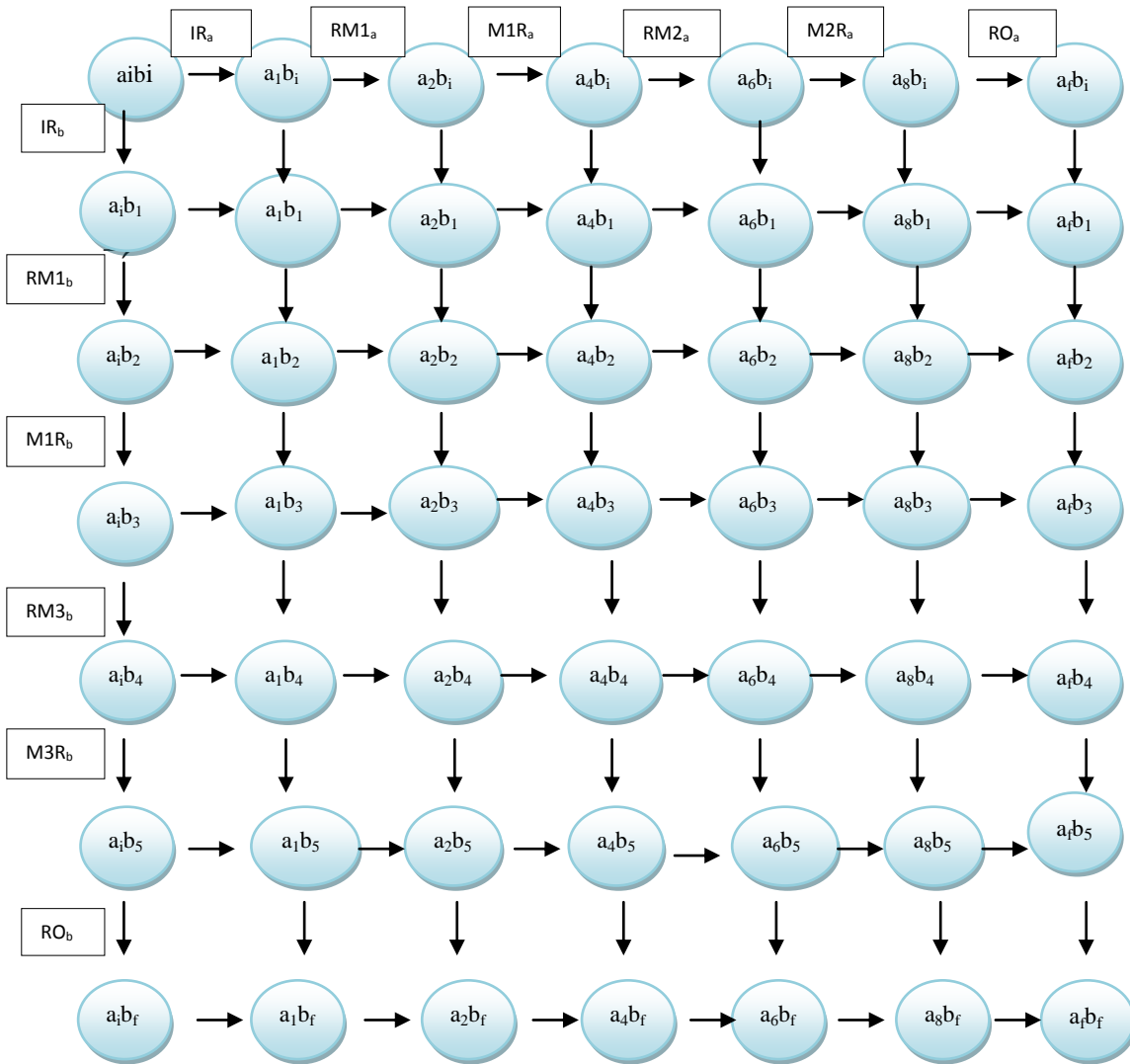


Figure Fig4.5 :model couplé des deux automates Contrôleur S (ensemble de tous les états)

Notez que dans la figure Fig4.5 l'état initial de S est  $x_0 = a_1b_1$

Ceci est l'état actuel combiné des différents états initiaux des pièces prévues pour entrer dans la cellule. L'état final du S est  $X_m$  qui est noté comme suite  $X_m = a_7b_7$ , cet état-final est la combine des états finaux des pièces..

.. Tout chemin menant de l'état initial  $x_0$  à l'état final  $X_m$  dans le graphe de la figure Fig. 4. 5 est une séquence potentiel permettant de compléter le traitement des deux pièces et initialise la cellule. Un point important à noter que dans la figure Fig.4 5 existe un certain nombre d'états illégaux . Par exemple, l'état  $a_4b_1$  est un état dans lequel les deux pièces A et B seront sur le

robot, cela ne devrait pas être autorisé sur la base des règles régissant le fonctionnement de la cellule puisque la capacité du robot est fixé à un. On note par états illégaux : les états de blocage, les états d'impasse (qui mène à un état de blocage) et des états inaccessibles

exp : Etats illégaux :

Etat de blocage:  $a_4b_1$  chargement d'un ressource par 2 pièces

Etat d'impasse :  $a_2b_1$  les deux états en aval sont des états de blocage

Etat inaccessible :  $a_4b_2$  les deux états en amont sont des états de blocage

#### IV.5 Système couplé et le modèle du contrôleur

Le processus de supervision couplé à événements discrets est défini comme :

$S / G = (\Sigma, Q, X, \delta, \xi, q_c, x_0, X_m, Q_m)$ , ou  $q_c$  est l'état actuel du modèle.

Le graphe de transition pour le superviseur  $S / G$  est montré dans la figure Fig.4. 6. est un sous-ensemble du graphe présenter par la figure Fig.4. 5 qui montre toutes les séquences possibles des mouvements qui sont admis à la fois par l'utilisation de l'automate fini de la figure(fig.4. 2) et du modèle d'exigences décrit dans la figure (fig.4. 5). Le graphe de transition de  $S / G$  ne contient pas d'états illégaux figure (Fig4.7).

Par exemple,  $a_2b_1$  est un état dans lequel une pièce de type A est sur la machine M1 et doit être dirigée vers la machine M2. Cependant, la pièce de type B est sur le robot et devrait être chargés sur la machine M1 prochainement. Il s'agit d'un état de blocage.

Du graphe de transition  $S / G$ , nous pouvons déterminer  $L_m(S / G)$  le langage marqué du système couplé, en tant que:  $L_m(S / G) = [(\text{selon le cas})]$ (dans notre cas il ya 8 chemins admissibles) voir le tableau 4.2

Formellement, le superviseur S composé du modèle d'exigence S et une fonction de transition (modèle de contrôle)  $\Psi$ .  $S = (\Psi, C)$ , où  $S = (\Sigma, X, \xi, x_0, X_m)$  et  $\Psi: S \cdot X \rightarrow \{0, 1\}$  (0: disable, 1: activé). Un modèle de contrôle qui limite la cellule pour l'exécution uniquement des séquences en  $L_m(S / G)$  garantit le contrôle et le traitement complet de tous les plans d'exécution des pièces dans la cellule.

Fonction de transition du contrôleur  $\Psi$  pour un ensemble d'états

	<u>IR</u>	<u>RM1</u>	<u>M1R</u>	<u>RM2</u>	<u>M2R</u>	<u>RM3</u>	<u>M3R</u>	<u>RO</u>
a2bi	0	0	1	0	0	0	0	0
a4bi	0	0	0	1	0	0	0	0
a6bi	1	0	0	0	1	0	0	0
a6b1	0	1	0	0	0	0	0	0
a6b2	0	0	1	0	1	0	0	0
a8bi	0	0	0	0	0	0	0	1
a8b2	0	0	0	0	0	0	0	1
afbi	1	0	0	0	0	0	0	0
afb1	0	1	0	0	0	0	0	0
afb2	0	0	1	0	0	0	0	0
afb3	0	0	0	0	0	1	0	0
afb4	0	0	0	0	0	0	1	0
afb5	0	0	0	0	0	0	0	1
afbf	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 4.1.....

Tableau des chemins possibles

N° chemin	Ensemble d'états composant le chemin
<u>01</u>	a <sub>i</sub> b <sub>i</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>4</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>8</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>2</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>3</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>5</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>f</sub>
<u>02</u>	a <sub>i</sub> b <sub>i</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>4</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>2</sub> , a <sub>8</sub> b <sub>2</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>2</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>3</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>5</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>f</sub>
<u>03</u>	a <sub>i</sub> b <sub>i</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>4</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>2</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>3</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>8</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>5</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>f</sub>
<u>04</u>	a <sub>i</sub> b <sub>i</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>2</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>4</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>2</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>3</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>5</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>f</sub> , a <sub>8</sub> b <sub>f</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>f</sub>
<u>05</u>	a <sub>i</sub> b <sub>i</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>5</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>f</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>f</sub> , a <sub>2</sub> b <sub>f</sub> , a <sub>4</sub> b <sub>f</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>f</sub> , a <sub>8</sub> b <sub>f</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>f</sub>
<u>06</u>	a <sub>i</sub> b <sub>i</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>2</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>4</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>8</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>5</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>f</sub>
<u>07</u>	a <sub>i</sub> b <sub>i</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>1</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>2</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>3</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>1</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>2</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>4</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>4</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>5</sub> , a <sub>6</sub> b <sub>f</sub> , a <sub>8</sub> b <sub>f</sub> , a <sub>f</sub> b <sub>f</sub>

08	$a_1b_i, a_1b_1, a_1b_2, a_1b_3, a_1b_4, a_1b_5, a_1b_f, a_2b_4, a_2b_5, a_2b_f, a_4b_f, a_6b_f, a_8b_f, a_fb_f$
----	--

Tableau 4.2 langage marqué du système

Le modèle de contrôle pour ce problème est présenté dans l'Annexe.

Le tableau 4.1 présente la fonction de transition pour quelques états. Reste à noter que, si de nouvelles pièces seront chargées dans la cellule, le modèle de contrôle de sera recalculé.

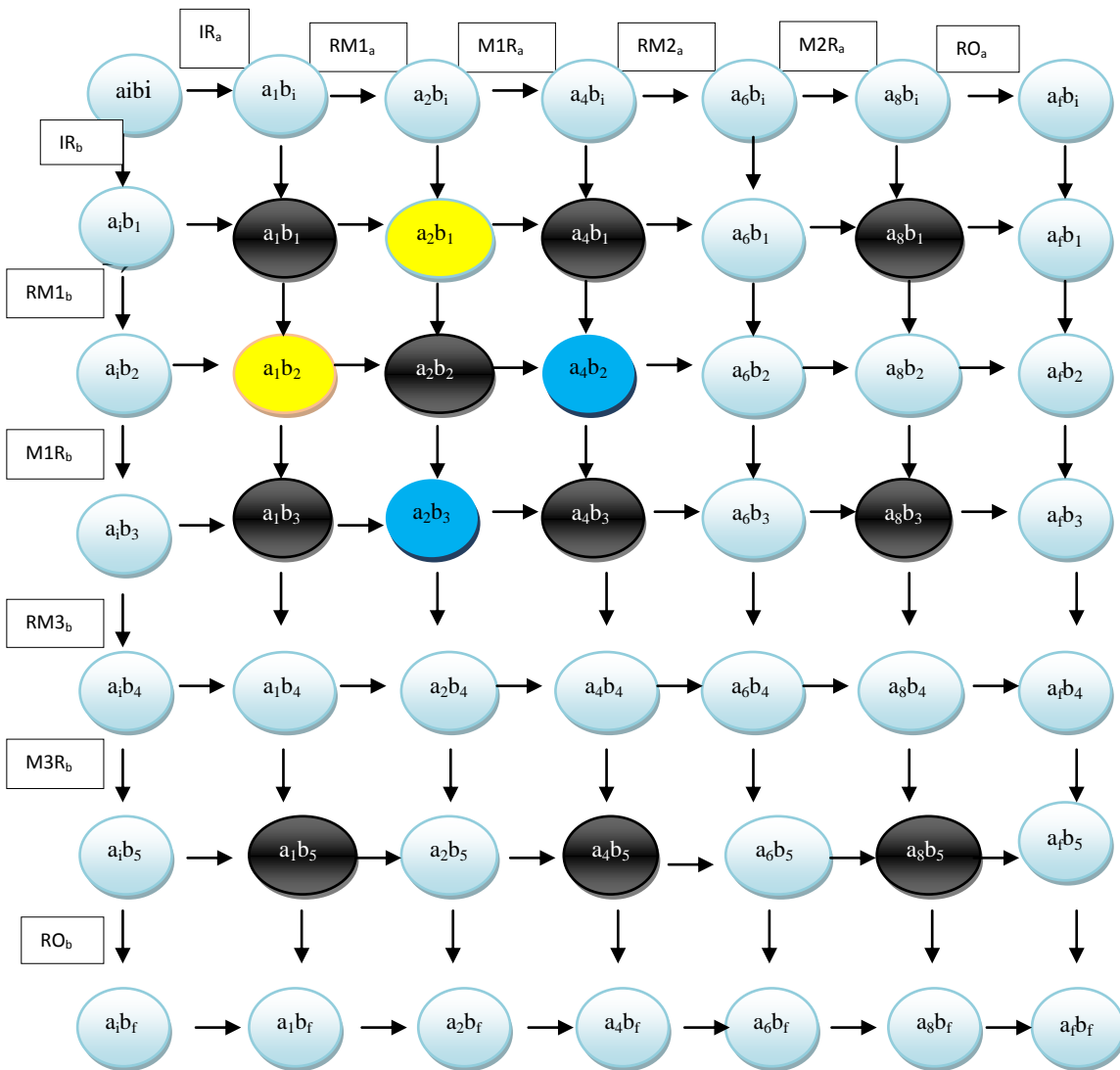


Fig4.6 : modèle réduit du contrôleur S' (distinction des états illégaux)

Pour obtenir le modèle final du contrôleur S :

- On supprime tous les états illégaux.
- On élimine tous les arcs qui mènent à ces états

Nous obtenons finalement le modèle du contrôleur S présenté par la figure Fig4.7

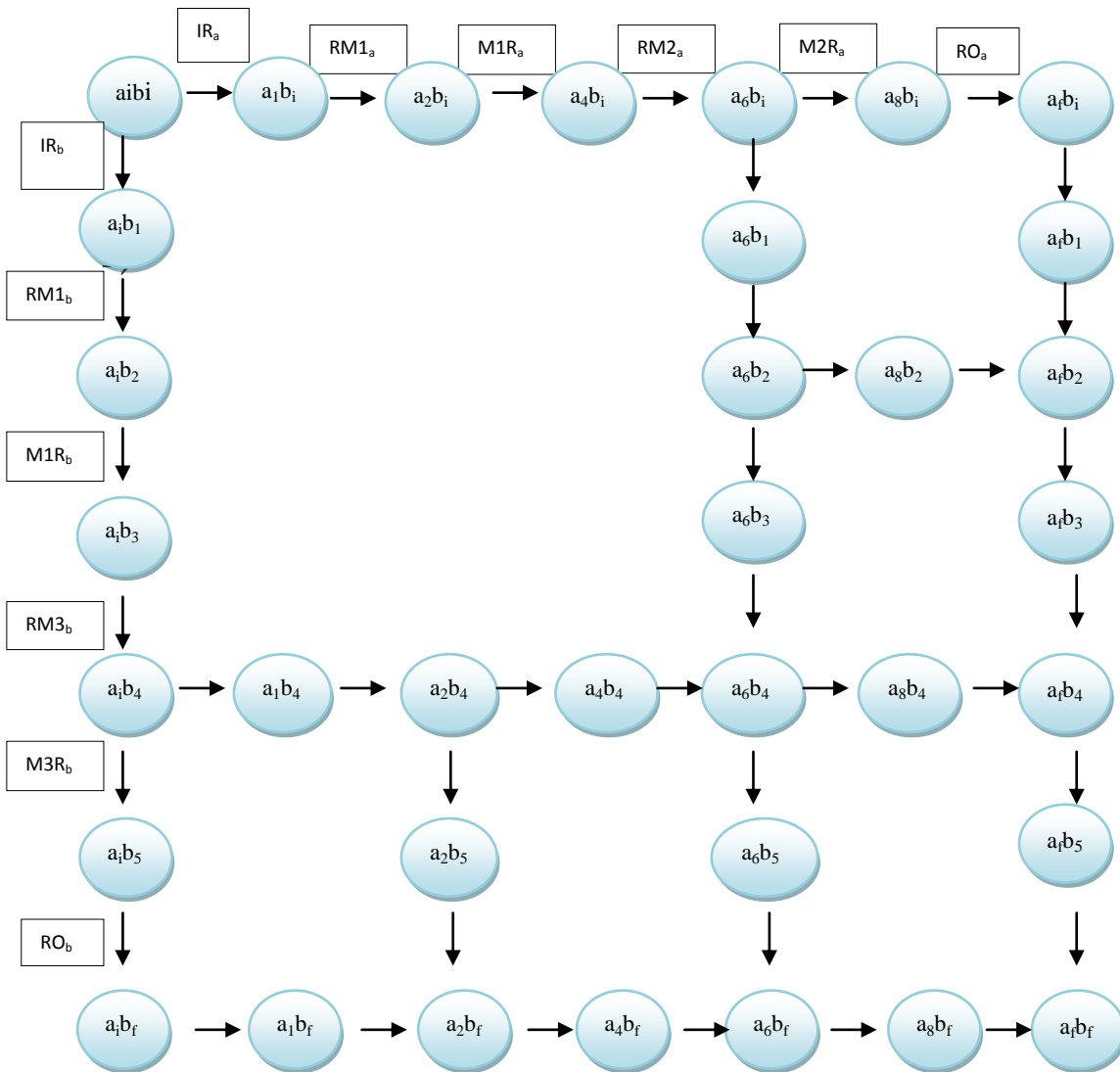
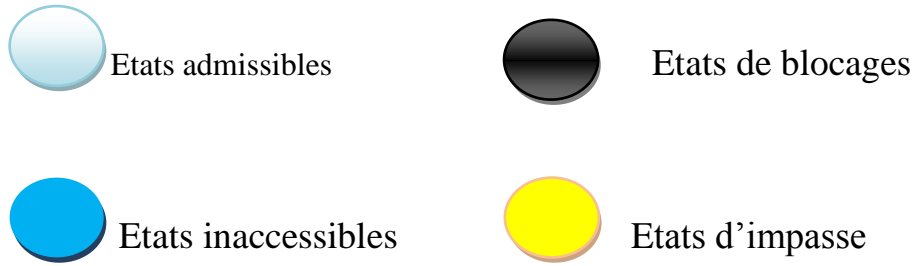


Fig4.7 :model réduit des deux automates(ensemble des chemins que doit suivre le contrôleur pendant le traitement) .

#### IV. 6 Les défaillances de ressources

Utilisant les méthodes traditionnelles pour modéliser le contrôleur, le problème de la représentation des défaillances dans le modèle de la cellule sera illustré par l'exemple suivant :dans le 1<sup>er</sup> cas chaque ressource est modélisée par l'automate fini suivante



Fig 4.7 model d'automate fini de ressource sans défaillance.

Mais si on introduit les défaillances avec cette représentation le modèle de l'automate fini devient un peu compliqué en ajoutant d'autres états.

Les défaillances de ressources se passent à n'importe quel instant pendant que les ressources sont en mode opérationnel ou en mode libre (inactif). En mode inactif, les défaillances ou la maintenance de la ressource n'ont aucun effet sur la progression de la production. Les opérations dépendant des défaillances se produisent uniquement lorsque la machine est occupée. Deux cas des opérations sont pris en considération :

Cas1/échec de la ressource à un état final et elle ne sera plus utilisée, dans ce cas après avoir réparé la ressource en parallèle avec le traitement, elle restera libre.

Cas2/échec de la ressource à un état intermédiaire dans ce cas Ali Yalcin [32] (Ali Yalcin04). propose de continuer le traitement virtuel des événements liés à la ressource défaillante, une fois la ressource est réparée cette ressource redevient occupée.

Mais dans notre étude on propose, de sauvegarder toutes les données de l'état actuel, ignorer la ressource défaillante et lancer sa réparation, générer un nouveau plan de travail une nouvelle gamme de production sans tenir compte de cette ressource, et en calculer à nouveau notre modèle de contrôle S2 en suivant les mêmes étapes pour le modèle S. Une fois la ressource est réparée elle reviendra au contrôleur S à l'état de sauvegarde avec des mises à jour des données des ressources non défaillantes.

Un autre cas peut se produire, l'arrivée de nouvelles pièces à la cellule à ce moment en rétablira les mêmes d'une défaillance de ressource.

#### **IV.7 Reconfiguration de la méthodologie proposée**

Nous concevons notre solution comme un outil basé sur une approche de la commande supervisée décrit dans les approches traditionnelles.

Cet outil aura pour fonctions principales :

- (1) initialisation de donnée
- (2) génération de tous les états possibles
- (3) élimination des états de blocages
- (4) génération le graphe du modèle de contrôler
- (5) en présence d'une défaillance de ressource

selon le cas :

- état de défaillance est un état final : une forme qui nous permettra de réparer la ressource et de continuer l'exécution du plan de travail.
- état de défaillance est un état intermédiaire : dans d'autres approches on continue l'exécution virtuelle des événements qui nous mène à l'état final de pièce sur cette ressource dans le modèle de contrôle, et la pièce sera rejetée du système et on entame la réparation de la ressource. Mais dans notre étude à ce stade on génère un nouveau plan de travail et une nouvelle gamme de production sans tenir compte de la ressource défaillante en répétant les étapes de (1) à (4) des fonctions principales de notre outil.

Les différentes étapes de la démarche suivie dans cette partie sont présentées dans les trois algorithmes suivants :

## Algorithme 1

**Début ( Algorithme 1)**  
**Etape 0** : Récupération des données  
début de travail  
**Etape 1 : Tant que** pas de défaillance **faire**  
Génère le graphe de transition  
Du modèle de control  
 $Q(\delta, X_i) \leftarrow X_{i+1}$   
 $i \leftarrow i+1$   
**Fin Tant que**  
**End**

**Algorithme IV.1** : Fonctionnement normal

## Algorithme 2

**Début (Algorithme 2)**  
**Etape 0** : Initialisation (ressource  $R_i$  défaillante)  
  
**Etape 1 : Tant que**  $R_i$  n'est pas réparée **faire**  
- générer un nouveau graphe de transition sans la ressource  $R_i$   
- exécute les étapes de (1) à (4) ensemble de fonctions principales  
(1) initialisation de donnée  
(2) génération de tous les états possibles  
(3) élimination des états de blocages  
(4) génération le graphe du modèle de contrôler  
  
**Fin Tant que**  
**Fin**

**Algorithme IV.2** : Fonctionnement anormal

## Algorithme principal

```
Début (Algorithme Principal)  
Etape 0 : Initialisation  
Etape 1 : (  
    If not(resource failures) Then  
        Appel Algorithme 1  
    End  
Fin1  
Etape 2 : (panne d'une ressource libre )  
    If F1 then (F1 évènement indiquant la défaillance de ressource en repos)  
        - Détecte la ressource concernée  
        - Effectuer la réparation de cette ressource  
        - F1←false  
    end  
  
    Aller à étape 1  
  
Fin 2  
Etape 3 : (panne d'une ressource occupée)  
    If F2 then (F2 évènement indiquant la défaillance de ressource occupée)  
        Détecte la ressource en question  
        If ressource = Robot then  
            - Arrêt total du processus de production  
            - Effectue la réparation du Robot  
            - F2← false  
            - Aller à étape 1  
        End  
        If ressource = machine i then  
            If E1 then (E1 évènement lier au cas1)  
                - E1← False  
                - Entamer la réparation de la machine i en parallèle avec Appel  
                  Algorithme 1  
            -  
            End  
            If E2 then ( E2 évènement lier au cas2)  
                - Effectuer un sauvegarde  
                - E2←false  
                - Appel Algorithme 2 en parallèle avec Reparation de la  
                  machine i  
            End  
        End  
  
    Fin 3  
Etape 4 (fin du programme)
```

## IV. 8. Conclusion

Pour établir une chaîne de production automatisée, la mise en œuvre entre les ressources d'un moyen de communication efficace, rapide et sécurisé s'avère nécessaire. Cette interaction dans l'industrie n'est plus résumée à la connexion entre machines. Nous observons qu'elle s'accroît pour englober les bases de données, les logiciels de supervision, les ressources physiques (robots, centres d'usinage, convoyeurs, etc.) qui deviennent de plus en plus intelligentes et autonomes. Les industriels cherchent des solutions ouvertes, des équipements compatibles entre eux, des logiciels qui s'adaptent aux diverses plates-formes utilisées et des organisations flexibles et intelligentes qui favorisent la communication et la coopération : c'est l'interopérabilité.

Les objectifs de la théorie de la *commande par supervision*, introduite par Ramadge et Wonham en 1982, peuvent s'énoncer : étant donné un *procédé* et un ensemble de *spécifications logiques* de fonctionnement, synthétiser un *superviseur* (une loi de commande) tel que le fonctionnement du procédé couplé au superviseur (système supervisé) respecte les spécifications imposées de façon la plus permissive possible ; le fonctionnement est alors qualifié d'optimal. Ainsi, le contrôle est exercé (par autorisation et interdiction de l'occurrence de certains événements) pour réduire l'ensemble des séquences d'événements que le procédé peut générer à un sous ensemble autorisé (légal), tout en éliminant (ou minimisant) les blocages.

La *supervision*, en interdisant l'occurrence de certains événements contrôlables, modifie le fonctionnement du système afin de satisfaire un ensemble de spécifications de fonctionnement. Le concept de *superviseur* permet de distinguer le procédé à contrôler et sa supervision. En ce sens, cette structure s'apparente à celle d'une commande par retour d'information pour les procédés continus. Il apparaît clairement que maîtriser la taille des superviseurs est un objectif crucial pour l'applicabilité de l'approche RW. Un grand nombre des extensions qui ont été faites à partir de la théorie de R&W, visent à répondre à cet objectif.

**CONCLUSION**

**GÉNÉRALE**

**ET**

**PERSPECTIVES**

## Conclusion générale

La synthèse de contrôleur pour les systèmes à événements discrets a été largement étudiée dans les travaux de Ramadge et Wonham. Dans leur approche, le système à événements discrets à contrôler est modélisé par un automate et son comportement par un langage formel. Une fois la commande obtenue, une interprétation est nécessaire. Là aussi, différents travaux proposent des interprétations sous forme de schémas. Nous avons présenté dans cette thèse une contribution au problème de la synthèse de contrôleur pour les systèmes à événements discrets modélisés par des automates à état fini.

Cependant dans cette approche, un inconvénient majeur subsiste : le grand nombre d'états à considérer pour représenter le comportement du système ainsi que le manque de structure dans les modèles limite les possibilités de développer des algorithmes de calcul efficace pour l'analyse et la synthèse. Différents travaux proposent des approches permettant de réduire cette taille.

L'avantage pratique de cette méthode est qu'elle utilise directement les automates qui nous permet d'utiliser les automates programmable industriel.

La méthode comporte deux phases. La première phase consiste à déterminer l'ensemble de tous les états par la construction du graphe des situations de deux modèles. Dans la deuxième phase, nous avons trouvé tous les états illégaux (interdits) et en les élimine pour décrire le modèle de contrôle qui va assurer le bon fonctionnement du système.

En fonctionnement normal le contrôleur assure le passage d'un état à un autre en suivant la gamme de production.

En fonctionnement anormal présence de défaillance de ressource ou l'arrivée d'une pièce, le contrôleur prend les mesures pour assurer l'exploitation des ressources non défaillantes et faire fonctionner le système. Dans notre travail nous avons proposé un outil de supervision de manière générale, plusieurs perspectives peuvent être envisagées.

Les travaux se limitent à la réalisation du modèle de contrôle de notre proposition de modélisation du processus de pilotage. Dans les perspectives, cette expérimentation peut se poursuivre pour démontrer la faisabilité technique du superviseur pour la simulation de projection et la simulation de correction. D'un point de vue technique, tous les outils nécessaires à la synthèse et à l'utilisation du contrôleur sont peu développés. En effet, nous envisageons de nombreuses perspectives intéressantes. Celles-ci concernent l'extension de la représentation, la

construction des configurations. la place de la configuration dans l'architecture du superviseur et l'implantation et l'évaluation du contrôleur dans ce sens.

# RÉFÉRENCES

# BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Ahmed S. B., Al Moalha M., Courvoisier M. (1996). "Approche multimodales pour la commande des Ateliers Flexibles".
- [2] [Aleonard Claude et al 94].. Erric Dindeleux, René Soenen. « Conduite des systèmes de production». Techniques de l'ingénieur, traité Généralités et Mesures et Contrôle R7598. 1994.
- [3] [Andreu, 1997] Andreu D., "Commande et supervision des procédés discontinus : une approche hybride", Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, France, 1997.
- [4] Artigues, C. 1997. *Ordonnancement en temps réel d'ateliers avec temps de préparation des ressources*. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS.
- [5] B. Bako. Mise en œuvre et simulation du niveau de coordination de la commande des ateliers flexibles: une approche mixte réseaux de Petri et systèmes de règles. PhD thesis, Université Paul Sabatier, Toulouse, Octobre 1990.
- [6] [CAS 99] C. Cassandras. *Introduction to Discrete Event Systems*. Kluwer Publishing Company 1999.
- [7] C. Briand. Vers une plus grande flexibilité du pilotage des systèmes de production. Modélisation des Systèmes Réactifs, Hermes, pages pp.277\_286, Mars 1999.
- [8] [CETIM, 94] "La maintenance préventive dans les ateliers d'usinage", CETIM Informations, n° 144, Juin 1994.
- [9] Christophe Everaere, Patrick Perrier. « La flexibilité dans les organisations industrielles». Techniques de l'ingénieur, traité l'Entreprise Industrielle AG3100. 1999.
- [10] [Cimax, 1998], CIMAX, "Introduction à la supervision", Edition Applicatif, n° 4, décembre 1997-janvier-février 1998.
- [11] [COH 97] G. Cohen, S. Gaubert and J.-P. Quadrat, *Linear projectors in the max-plus algebra*. In: Proc. 5th IEEE Med. Conf. on Cont. and Syst., Paphos, Cyprus. 1997.
- [12] Combacau M., Berruet P., Charbonnaud, Khatab A. and Zamai E. (2000). "Supervision and monitoring of production systems"

- [13] Erschler, J., Fontan, G., Roubellat, F. 1993. *Encyclopédie du management – Ordonnancement en ateliers spécialisés*. Helfer et Orsoni, Vuibert, Paris.
- [14] [Esquirol et Lopez, 1999] Patrick Esquirol et Pierre Lopez, Livre “L’ordonnancement”, Ed. Economica, Collection Gestion, Série : Production et techniques quantitatives appliquées à la gestion.
- [15] [Exera, 1996] EXERA, “Guide de choix, système de supervision pour automatisme programmable”, n° EXERA : S3681F96, édition 1996.
- [16] [GEN07] Gentil S., Celse B., Charbonnier S., Cocquempot V., Hamelin F. Lesecq S., Maquin D., Montmain J., Ragot J., Sauter D., *Supervision des Procédés Complexes*, Lavoisier, 2007.
- [17] [Giard, 2003] Giard V., “Gestion de la production et des flux”, Economica, 2003.
- [18] [HER06] Hernandez H., *Supervision et diagnostic des procédés de production d’eau potable*. Thèse de Doctorat, INSA de Toulouse, 2006.
- [19] [Hetreux, 1996] Hetreux G., « Structure de décision multi-niveaux pour la planification de la production : robustesse et cohérence des décisions », Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, France, 1996.
- [20] [Ho 91] Y. C. Ho and X. Cao. *Perturbation Analysis of Discrete Event Dynamical Systems*. Kluwer Publishing Company, 1991.
- [21] J.C. Billaut. *Prise en Compte des Ressources Multiples et des Temps de Préparation dans les Problèmes d’Ordonnancement en Temps Réel*. PhD thesis, Université Paul Sabatier, Toulouse, Décembre 1993.
- [22] [LOP, 91] P. Lopez et F. Roubellat, "Ordonnancement de la production", *Traité IC2, Série Systèmes Automatisés*, Ed. Hermès.
- [23] [Ly et al., 2000] F. Ly, A.K.A Toguyeni et E. Craye, “Indirect predictive monitoring flexible manufacturing system”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing systems*. Elsevier Science, Vol. 16, pp. 321-338, 2000 .
- [24] Marino Widmer. « Modèles mathématiques pour une gestion efficace des ateliers flexibles ». Presses Polytechniques et universitaires Romandes. 1991.

- [25] Michel Jubin. « Ateliers flexibles d'usinage ». Techniques de l'ingénieur, traité Mécanique et Chaleur B7030. 1994.
- [26] Pourcel C., *Systèmes automatisés de production*, Cepandues - Editions, Toulouse, France, Décembre 1986.
- [27] [Pujo et Kieffer, 2002] Patrick Pujo et Jean-Paul Kieffer, livre "Fondements du pilotage des systèmes de production", Chapitre 1, Hermes Science Publications, Paris, 2002.
- [28] Ramadge PL, Wonham WM. Supervisory control of a class of discrete event processes.
- [29] [RAM 89] P. J. Ramadge, and W. Wonham, *The Control of Discrete Event Systems*, Proceedings of the IEEE; Special issue on Dynamics of Discrete Event Systems, Vol. 77, No. 1:81-98, 1989.
- [30] [Toguyeni *et al.*, 2002] Armand Togueni, Khalid Kouiss et Michel Combacau, Livre "Fondements du pilotage des systèmes de production", Chapitre 4 Supervision d'atelier, Hermes Science Publications, Paris, 2002.
- [31] [WON 94] W. M. Wonham, *Notes on Control of Discrete-Event Systems*, Technical Report, ECE 1636F/1637S, 1994.
- [32] Yalcin A. Architectures for automated manufacturing cells with routing flexibility. Ph.D. thesis, Department of Industrial and Systems Engineering, Rutgers University, 2000.

# ANNEXE 1

FONCTION DE TRANSITION DU CONTRÔLEUR  $\Psi$   
POUR LE MODÈLE

## Fonction de transition du modèle

Fonction de transition du controleur  $\Psi$  pour le modèle

Etat/eve	IR <sub>a</sub>	RM1 <sub>a</sub>	M1R <sub>a</sub>	RM2 <sub>a</sub>	M2R <sub>a</sub>	RO <sub>a</sub>	IR <sub>b</sub>	RM1 <sub>b</sub>	M1R <sub>b</sub>	RM3 <sub>b</sub>	M3R <sub>b</sub>	RO <sub>b</sub>
aibi	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
a1bi	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a2bi	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a4bi	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
a6bi	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
a8bi	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
afbi	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
aib1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
a6b1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
afb1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
aib2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
a6b2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
a8b2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
afb2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
aib3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
a6b3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
afb3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
aib4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

a1b4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a2b4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
a4b4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
a6b4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
a8b4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
afb4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
aib5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
a2b5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
a6b5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
afb5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
aibf	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a1bf	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a2bf	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a4bfi	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
a6bf	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
a8bf	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
afbf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

# ANNEXE 2

**EXEMPLE D'INTERFACE DÉVELOPPÉ SOUS  
DELPHI**

## Vue de l'application:

La première interface se compose d'une figure et de plusieurs boutons



## Indication de bouton :

Ordre de machine

nous permis d'indiquer l'ordre sur machine dans lequel sera machinée une telle pièce

Exemple a M1 M2 indique que la pièce ( a ) passe au niveau de la machine M1 puis M2.

On doit donner le nombre de pièce et le nombre de chemins de chaque pièce puis on indiquera l'ordre de machine.

**Les chemins**

nous permis d'identifier les chemins de chaque pièce

Noté qu'une pièce peut avoir plus d'un chemin.

**Matrice de transition**

nous donne la composition des chemins

La dimension de la matrice varis selon le nombre de pièce

Cette matrice comporte tous les états

**Optimisation**

nous permis d'éliminer tous les états illégaux se trouvant dans la matrice de transition

**Simulation des chemins**

nous permis de simuler les chemins de chaque pièce

**Close**

nous permis de sortir de l'application

**Les défaillances de ressources**

Pour indiquer la défaillance d'une ressource on doit bouger le levier de la machine on question et elle sera éliminée de la cellule.

