

# **THESE**

*Présentée*

Devant l'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON

*pour obtenir*

LE GRADE DE DOCTEUR

FORMATION DOCTORALE :    PRODUCTIQUE : organisation économique et génie  
informatique pour l'entreprise

par

Gilles NEUBERT

(Ingénieur CNAM en Automatique Industrielle)

---

## **Contribution à la spécification d'un pilotage proactif et réactif pour la gestion des aléas**

---

Soutenue le 8 décembre 1997 devant la Commission d'Examen

Jury : MM.            Jean Pierre Campagne    (Directeur de thèse)

Jacques Erschler            (Rapporteur)

Pierre Ladet                (Rapporteur)

Gérard Bel

Joël Favrel

Jacques-Henri Jacot

Jean Paul Kieffer

Patrick Thollin

---

## **Contribution à la spécification d'un pilotage proactif et réactif pour la gestion des aléas**

---

Cette thèse, financée par la région Rhône-Alpes, a été réalisée au sein du laboratoire de Productique et Informatique des Systèmes Manufacturiers (PRISMa, UPRES B 461, INSA de Lyon) dans le cadre d'un partenariat avec l'entreprise L'Electricfil Industrie (Equipementier Automobile, Beynost-01).

Elle est étroitement liée au projet ORGALEA retenu dans le programme thématique de recherche "processus manufacturiers" de l'appel d'offres 1994 de la région Rhône-Alpes.

Les autres partenaires de ce projet ont été :

- Le Groupe d'Analyse et de Théorie Economique (GATE, UPRES-A CNRS 5048, Ecully-69),
- Le Laboratoire d'Automatique de Grenoble (LAG, UMR C 5528, Grenoble-38)
- La société COURBON, St Etienne-42

Je tiens à remercier en tout premier lieu Jean Pierre Campagne qui a dirigé ces travaux de recherches, pour son engagement et le climat de confiance qui a entouré notre relation.

Je remercie aussi Monsieur Joël Favrel pour m'avoir accueilli dans le laboratoire PRISMa et soutenu dans mes démarches, ainsi que l'ensemble des membres de ce laboratoire.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur Patrick Thollin, Directeur de L'Electricfil Industrie pour avoir bien voulu associer son entreprise à ce projet de recherche.

Un très grand merci à tous les membres du projet ORGALEA pour la rigueur scientifique et l'ouverture d'esprit qui ont accompagné ces trois années de travail.

Je remercie Messieurs Pierre Ladet et Jacques Erschler pour avoir bien voulu rapporter ce travail, et Gérard Bel, Jacques-Henri Jacot, Jean Paul Kieffer d'avoir accepté d'être membre du jury.

## Sommaire

---

### **INTRODUCTION GENERALE** **15**

---

1. INTRODUCTION -----	17
2. METHODE SUIVIE-----	19
3. ORGANISATION DE LA THESE -----	20

---

### **CHAPITRE 1 : PILOTAGE DES ACTIVITES ET NOUVELLES FORMES D'ORGANISATION** **22**

---

1. INTRODUCTION -----	24
2. PILOTAGE DU SYSTEME DE PRODUCTION -----	25
3. DU SYSTEME PRODUCTIF A L'ORGANISATION PRODUCTIVE-----	34
4. DES FORMES D'ORGANISATION CONTINGENTES -----	41
5. CONCLUSION -----	53

---

### **CHAPITRE 2 : ACTIVITE, REACTIVITE ET PROACTIVITE** **56**

---

1. INTRODUCTION -----	58
2. FLEXIBILITE DES SYSTEMES DE PRODUCTION -----	58
3. REACTIVITE ET PILOTAGE -----	62
4. PROACTIVITE : UN CONCEPT ENCORE MAL DEFINI-----	66
5. PROACTIVITE ET PILOTAGE DES ACTIVITES-----	73
6. MODELE SYNTHETIQUE D'UNE ARCHITECTURE DE PILOTAGE REACTIF ET PROACTIF -----	76
7. CONCLUSION -----	77

---

### **CHAPITRE 3 : GESTION DES ALEAS ET PILOTAGE DE LA PERFORMANCE** **80**

---

1. INTRODUCTION -----	82
2. PERFORMANCE INDUSTRIELLE ET GESTION DES ALEAS -----	82
3. PILOTAGE ET EVALUATION DE LA PERFORMANCE INDUSTRIELLE-----	86
4. PROACTIVITE ET GESTION DES ALEAS-----	101
5. CONCLUSION -----	104

---

**CHAPITRE 4 : BASES D'UNE MODELISATION DES ORGANISATIONS PRODUCTIVES 105**

---

1. INTRODUCTION ----- 107

2. DEMARCHE ET FINALITES DE LA MODELISATION ----- 108

3. MODELISATION ET ACTIVITE----- 115

4. LE MODELE AGENT ----- 118

5. CONCLUSION ----- 126

**CHAPITRE 5 : LE MODELE AGENT/ACTIVITE POUR UNE REPRESENTATION DU PILOTAGE PROACTIF ET REACTIF 129**

---

1. INTRODUCTION ----- 131

2. UN MODELE AGENT / ACTIVITE ----- 131

3. PROACTIVITE, REACTIVITE ET MODELE AGENT/ACTIVITE ----- 135

4. AGENT ET ORGANISATION : LES COMMANDEMENTS DE LA PROACTIVITE. ----- 145

5. CONCLUSION ----- 155

**CHAPITRE 6 : PILOTAGE PAR SUPERVISION DES SYSTEMES A ÉVENEMENTS DISCRETS 157**

---

1. INTRODUCTION ----- 159

2. ARCHITECTURE D'UN PILOTAGE PAR SUPERVISION REACTIF ET PROACTIF ----- 160

3. APPLICATION DU PILOTAGE PAR SUPERVISION ----- 170

4. CONCLUSION ----- 188

**CHAPITRE 7 : PROACTIVITE ET AIDE AU PILOTAGE STRATEGIQUE 190**

---

1. INTRODUCTION ----- 192

2. FONDEMENTS D'UNE ORGANISATION PROACTIVE ET REACTIVE ; AIDE AU PILOTAGE STRATEGIQUE ----- 194

3. FOCALISATION SUR L'AGENT "COMITE DE DIRECTION" ----- 198

4. ANALYSE DETAILLEE DE L'AGENT COMITE DE GESTION ----- 207

5. CONCLUSION SUR CETTE APPLICATION INDUSTRIELLE ----- 215

## Sommaire

---

<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>219</b>
<hr/>	
1. ORIGINE DES TRAVAUX-----	221
2. DES CONCEPTS A LEUR APPLICATION -----	221
3. LIMITES DE LA RECHERCHE -----	224
4. PERSPECTIVES -----	225
 <b>LEXIQUE</b>	 <b>227</b>
 <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	 <b>233</b>
 <b>LISTE DES FIGURES</b>	 <b>245</b>
 <b>TABLE DES MATIERES</b>	 <b>249</b>

---



## **Introduction générale**





## 1. Introduction

Le pilotage d'un système de production doit assurer l'organisation des ressources, dans le temps et dans l'espace, afin de satisfaire les objectifs assignés. Les méthodes de planification traditionnelles, prédictives, déclinées le long d'une structure relativement stable et figée, ont longtemps constitué la voie principale de rationalisation de la production.

De profondes et rapides modifications ont affecté à la fois le contexte technologique et économique dans lequel évoluent les entreprises.

Sur le plan technique, l'arrivée massive à partir des années 80, de nouvelles technologies reposant sur l'utilisation de l'électronique et de l'informatique a modifié sensiblement le contour des emplois et des compétences opérationnelles requises. Elle a aussi profondément modifié la valeur des compétences en accordant un intérêt de plus en plus grand à la capacité des acteurs à s'adapter aux évolutions et à intégrer de nouvelles techniques. Les connaissances ont ainsi perdu une partie de leur pérennité pour devenir le support de base nécessaire à toute évolution.

Sur le plan économique, les modifications de l'environnement, qui devient de plus en plus incertain et turbulent, entraînent de grandes difficultés pour les entreprises à établir des prévisions fiables. L'uniformisation quasi mondiale des moyens techniques de production, corrélée à des capacités de communication qui contribuent à limiter le problème des distances (autant dans le transport des informations que des produits), a conduit à la globalisation des marchés et à la recherche de nouveaux critères de différenciation des produits, tels que la qualité, la capacité d'innovation, le délai de mise à disposition, etc.

La notion de réactivité est ainsi apparue comme principe de pilotage pour répondre à ce nouvel environnement productif. Elle s'entend généralement comme la capacité d'un système à répondre rapidement et intelligemment aux sollicitations de son environnement et aux aléas affectant ses processus opérationnels. Elle s'appuie sur l'exploitation d'une certaine flexibilité des ressources mises en oeuvre et de leur implantation, mais aussi sur la mise en place de formes d'organisation adaptées. Ce principe de pilotage réactif repose généralement sur une structure relativement stable (organisation, planification à moyen terme, etc.) complétée par

une gestion événementielle permettant de trouver une réponse satisfaisante aux événements reçus afin d'adapter le pilotage du système.

Pour accroître leur réactivité, les entreprises ont ainsi dû repenser leurs modes de gestion et d'organisation. L'accélération des processus décisionnels et la nécessité d'adapter en permanence le pilotage du système de production ont été concomitantes à la mise en place de structures décentralisées et à un décloisonnement des activités opérationnelles.

La forte évolution caractérisant le système technique contemporain impose désormais aux entreprises, d'une part de savoir répondre de plus en plus rapidement à des problèmes nouveaux, et d'autre part d'être capable, pour conserver leur niveau de performance, d'anticiper ces problèmes. La gestion des aléas devient ainsi, à côté de celle des événements une des nouvelles exigences du pilotage des systèmes de production.

Ce travail de recherche propose pour cela la spécification d'un nouveau concept de pilotage des systèmes de production, pertinent par rapport aux nouvelles fonctionnalités attendues de réactivité et de gestion des aléas et tenant compte des nouvelles formes d'organisation de la production : le pilotage proactif et réactif.

La juxtaposition des deux termes, proactif et réactif, n'est pas sans justification. La proactivité ne s'entend pas sans la réactivité ; elle constitue avec elle une boucle d'adaptation permanente du pilotage. Elle intervient avant l'apparition des aléas dans le cadre de l'anticipation, et après leur résolution dans le cadre de la capitalisation et de l'apprentissage.

La proactivité repose ainsi sur la mise en place de formes d'organisation adaptées qui permettent un rapprochement entre le processus décisionnel et l'activité, voire qui inscrivent dans leurs objectifs même, la démarche proactive. L'organisation n'est pas alors seulement décrite de manière fonctionnelle, comme une structure de division des tâches entre les acteurs, mais aussi à travers le maillage des activités qui engendrent de la valeur.

La notion d'activité prend ainsi un rôle central dans la description de l'organisation. Elle permet une description suivant différents niveaux et un élargissement de la notion de système de production. Le pilotage du système de production ne se limite plus au contrôle/commande du système physique, mais s'étend à l'ensemble des activités de l'entreprise et repose sur les capacités cognitives des acteurs. Il intègre désormais les différentes formes d'interactions

entre sous-systèmes nécessaires à la réorganisation des ressources et la coordination des actions. Il s'appuie sur la mise en place de méthodes de détection des aléas afin d'éviter que des situations à risque n'évoluent vers des dégradations de performance. Enfin, les capacités d'interprétation, d'adaptation et d'innovation du pilotage reposent sur un enrichissement permanent des modèles qu'il utilise.

## 2. Méthode suivie

Ces travaux s'inscrivent dans une démarche de Génie Industriel. Notre volonté, dans ce travail de recherche, a été de proposer des méthodes ainsi que des modèles permettant une représentation partageable du système de production. En ce sens, il constitue une synthèse constructive de la notion de pilotage des activités.

Il s'agit avant tout de proposer des modèles de représentation qui soient pertinents. Si la complexité de l'objet modélisé interdit toute idée de complétude du modèle, la recherche doit permettre de rendre intelligible le problème, de le formaliser, de le conceptualiser. Nous avons ainsi voulu sortir notre travail de la simple description d'exemples juxtaposés, afin de proposer une approche générique multivues du pilotage proactif et réactif dans les organisations productives.

Une des premières démarches a été d'intégrer dans le champs de la productique les acquis des différentes disciplines qui agissent sur les systèmes de production : Economie, Gestion de Production, Intelligence Artificielle Distribuée, etc. Nous nous sommes ensuite placé dans la boucle de retour en élaborant une vision nouvelle et multivues du pilotage satisfaisant les objectifs recherchés.

Enfin, notre participation, dans le cadre de ce travail, au projet de recherche **ORG**GALEA, **O**rganiser les **R**essources et **G**érer les **A**LEAs, retenu dans le cadre de l'appel d'offres (1994) du programme thématique de recherche "processus manufacturiers" de la Région Rhône-Alpes nous a permis d'enrichir en permanence ces réflexions. Son cadre académique pluridisciplinaire a été le terrain des débats et des confrontations de points de vue nécessaires au développement de notre approche conceptuelle. La présence de partenaires industriels nous a permis de tester et de valider nos propositions, mais aussi, grâce à la synergie qui s'est développée, de les enrichir.

### 3. Organisation de la thèse

Cette thèse comprend 7 chapitres qui développent nos propositions pour un pilotage proactif et réactif des activités (voir figure 1).

Le premier chapitre pose le cadre du problème et montre l'importance des notions *d'activité* et *d'organisation* dans le *pilotage*. Il conduit ainsi à proposer une structure basée sur un pilotage des activités de l'organisation. Ce pilotage repose sur la décentralisation des décisions et sur la prise en compte des capacités cognitives des acteurs dans le processus décisionnel. Ce point nous paraît essentiel pour la prise d'initiative, la recherche de solutions nouvelles et l'apprentissage (individuel ou organisationnel) nécessaire à un pilotage proactif.

Le deuxième chapitre développe une *architecture* en trois niveaux de pilotage mettant en relation *activité, réactivité, proactivité et flexibilité*. Cette architecture nous permet de décrire l'emboîtement existant entre ces différentes notions et de montrer où et comment la proactivité intervient dans cette structure.

Le troisième chapitre est centré sur *l'aléa* qui constitue le *déclencheur de la proactivité*. Nous élaborons à partir des notions *d'objectifs* et *d'indicateurs de performance*, une approche méthodologique et générique de l'aléa s'appuyant sur la *Sûreté de Fonctionnement*. Ceci nous permet de relier aléa et pilotage d'une manière formelle et compatible avec une approche multivues du système de production.

Le chapitre 4 pose les bases de la modélisation. Il s'appuie d'une part sur la description du système de production à l'aide du concept d'activité et d'autre part sur les Systèmes Multi-Agents développés en Intelligence Artificielle Distribuée.

Le chapitre 5 nous permet alors de définir un *modèle de représentation* du pilotage proactif et réactif des activités qui intègre les développements des chapitres précédents dans une représentation générique : le *modèle Agent/Activité*.

Le chapitre 6 est l'occasion *d'instancier* ce modèle à la supervision des Systèmes à Événements Discrets (SED). En partant du modèle Agent/Activité proposé, qui nous permet une représentation partageable du problème, nous développons avec des outils plus formels ce que nous avons qualifié de *pilotage par supervision proactif des SED* (par référence à la commande par supervision des SED).

Enfin, le chapitre 7 nous permettra de développer une *application industrielle* du problème de la gestion des aléas. Cette application répond aux besoins exprimés par notre partenaire industriel, un équipementier automobile, en termes de pilotage stratégique. Elle sera pour nous l'occasion d'une mise en oeuvre pratique des concepts développés et d'une confrontation avec la réalité industrielle. Elle nous permettra aussi, avec une vision presque diamétralement opposée à celle de la supervision des SED du chapitre 6, d'apprécier le *caractère générique de l'approche*.

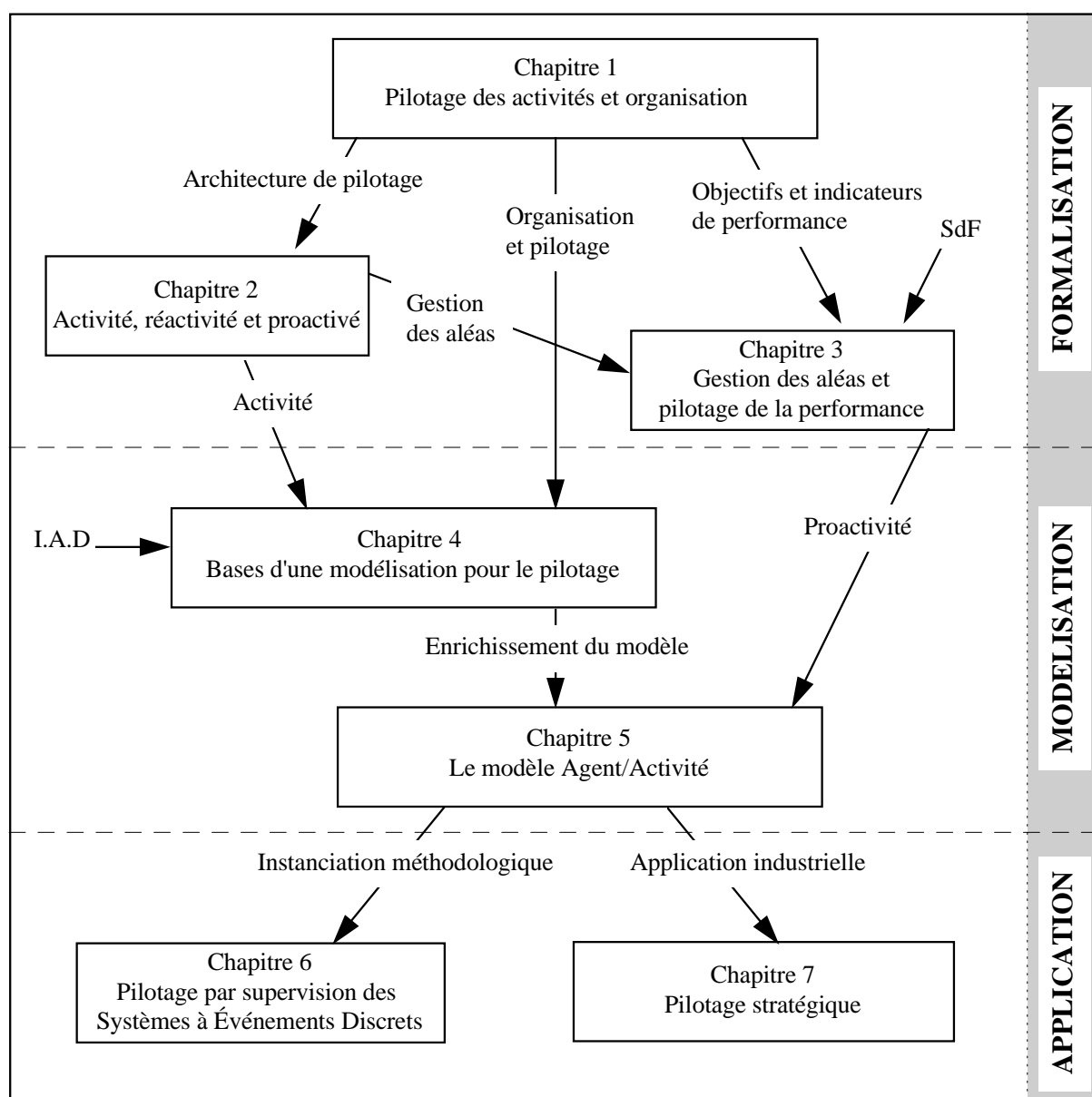


figure 1. Synoptique de la thèse

## **Chapitre 1 :**

### **pilotage des activités et nouvelles formes d'organisation**





## 1. Introduction

Les entreprises manufacturières évoluent aujourd'hui dans un marché de forte concurrence dominé par une économie de l'offre [Brilman, 95]. Très dépendantes de leurs clients, elles sont tenues à des améliorations permanentes de leurs performances : réduction des délais et des coûts, augmentation de la diversité des produits et de leur qualité, innovation soutenue. Leurs contraintes sont encore augmentées par un environnement de plus en plus incertain et perturbé. De moins en moins système fermé, l'entreprise, dont les frontières deviennent plus floues, s'insère aujourd'hui dans un réseau d'entreprises coopérantes liées par des flux tendus issus de la mise en oeuvre des concepts du juste à temps. Ce dernier point s'interprète par exemple comme une volonté de réduire les en-cours [Hollard, 96] et a deux incidences importantes :

- il introduit une forte contrainte de synchronisation des activités des différents systèmes,
- il souligne les questions de délai et de fiabilité des systèmes de production, du fait du couplage et de la propagation des incidents.

De nouveaux principes de fonctionnement, basés sur une logique de réactivité [Cohendet et Llerena, 90], se sont développés pour répondre à la suppression des interfaces de découplage qui existaient précédemment entre le client et le fournisseur, et qui permettaient d'absorber une partie des aléas et de réajuster la stratégie aux changements de l'environnement. Cette logique de réactivité, basée sur la capacité de réponse en temps utile à l'événement, cède aujourd'hui souvent le pas à une gestion permanente des aléas et, bien que nécessaire, peut devenir une source importante de vulnérabilité des entreprises. Ces aléas ne sont pas seulement sensibles au niveau du système physique de production, mais affectent l'ensemble de l'entreprise :

- Adéquation des choix de développement, de marketing, de positionnement sur le marché, irruption d'un nouveau compétiteur, déréglementation, délocalisation, etc.
- Pertinence des choix d'investissement, d'affectation des ressources, de programmes Recherche et Développement, etc.
- Fiabilité des équipements, compétence des acteurs, qualité des produits, délais de mise à disposition, etc.

La prise en compte de ces nouveaux paramètres a conduit les entreprises à modifier le mode de pilotage de leurs systèmes de production et la gestion de leurs ressources, faisant émerger les concepts d'activité, de réactivité et de proactivité, afin d'utiliser au mieux la flexibilité de leurs moyens de production. Les entreprises ont ainsi évolué d'une conception figée de leurs structures, dans laquelle les tâches à effectuer par les opérateurs sont entièrement définies et se déroulent dans un cadre de travail prescriptif, à une conception décentralisée et adaptative, dans laquelle les acteurs se voient confier des missions, possèdent des degrés de liberté qui leurs laissent la possibilité d'effectuer des choix dans un cadre de travail coopératif et responsabilisant. Ces acteurs disposent ainsi de possibilités d'adaptation dans le pilotage de leurs activités qui leurs permettent de réagir face à une situation défavorable, mais aussi désormais de *proagir* afin d'éviter que des situations à risque n'évoluent vers des dégradations importantes des performances industrielles. Cette transformation des modes de pilotage nécessite de nouvelles formes d'organisation, mobilisant les hommes et reposant sur le développement des compétences et non plus sur les temps de travail alloués [Jacot et Micaelli, 96].

## **2. Pilotage du système de production**

Nous avons mis en évidence, dans l'introduction, la notion de pilotage du système de production et l'importance de son adéquation aux exigences de son environnement en termes de qualité, coût et délai. Comme cela a été largement démontré à travers de multiples analyses critiques du taylorisme [Bernoux, 90] [Lorino, 89], au delà d'un certain seuil de complexité et d'instabilité, le paradigme mécaniste du contrôle, largement développé dans l'Organisation Scientifique du Travail, devient inopérant pour fonder la conduite de l'entreprise. Il devient alors nécessaire de passer à un paradigme ouvert, celui du pilotage [Lorino, 95].

### **2.1 Le paradigme du contrôle**

Le paradigme du contrôle repose sur deux hypothèses principales [Lorino, 89] :

- Hypothèse de simplicité : le fonctionnement de l'entreprise est suffisamment simple pour être modélisé de l'extérieur. L'observateur peut ainsi représenter le fonctionnement du système par un modèle descriptif et prédictif, dans un contexte d'information parfaite.

- Hypothèse de stabilité : les lois auxquelles obéit le fonctionnement de l'organisation sont pérennes et invariables. Une fois l'analyse réalisée (voir hypothèse de simplicité), on peut donc utiliser ces lois pour construire une référence de comportement dont les effets sont durables dans le temps.

La première hypothèse conduit à penser qu'il est possible d'établir une norme de comportement à travers un modèle de type "boite noire" qui une fois identifié pourra être parfaitement contrôlé par la mise en oeuvre d'actions correctrices. Il s'apparente au modèle cybernétique de l'automatisme contrôlé par une boucle de retour et la mise en oeuvre d'un correcteur.

La seconde hypothèse suppose le système et son environnement suffisamment stables pour que les effets de ces actions correctrices restent identiques dans le temps. Ces hypothèses ont conduit Taylor en son temps à élaborer le modèle mécaniste du *contrôle* permettant de répondre *scientifiquement* au problème du pilotage des ateliers de fabrication.

Ce modèle s'appuie sur le principe de rationalité techniciste du *one best way*. L'entreprise est considérée comme un système fermé fonctionnant dans un univers stable. Dès lors, aucune variation de l'environnement ne venant la percuter, toute amélioration des performances s'appuie sur une optimisation des processus internes, dont F.W. Taylor décrira clairement les étapes dans son modèle scientifique<sup>1</sup> : *"la direction se charge de réunir tous les éléments de la connaissance traditionnelle des ouvriers, de classer ces informations, d'en faire la synthèse et de tirer de ces connaissances des règles, des lois, des formules qui sont d'un grand secours pour aider l'ouvrier à accomplir sa tâche journalière* (identification du modèle par un observateur extérieur). (...) *Plus tard, quand ces lois sont appliquées dans le travail journalier des entreprises, (...), elles entraînent invariablement, tout d'abord une production unitaire beaucoup plus importante, qui est d'une qualité bien meilleure,...* (hypothèse de stabilité sous

---

<sup>1</sup>Le modèle scientifique développé par F.W. Taylor s'appuie sur quatre postulats. Deux sont liés à la performance industrielle qui repose, d'une part sur la maximisation du profit par une minimisation des coûts (sans souci du marché), et d'autre part sur l'assimilation du coût global de l'entreprise au coût d'une ressource dominante (en général la main d'oeuvre). Les deux autres postulats, stabilité et simplicité dessinent le modèle de contrôle.

laquelle les lois déterminées au préalable permettront de contrôler *invariablement* plus efficacement le modèle) [Taylor, 57] cité dans [Bernoux, 90].

On notera que les exécutants sont exclus du processus d'optimisation de leur tâche, qui repose sur les principes du *système de direction scientifique* : études des connaissances traditionnelles, enregistrement, classement et enfin transformation de ces connaissances en lois scientifiques. Le savoir-faire peut ainsi être réduit à des règles immuables, voire à des lois mathématiques. Il est alors possible d'optimiser ce qui est considéré comme une loi pérenne.

Enfin, ce principe de division du travail, en séparant radicalement conception et exécution exclut toute prise d'initiative par les exécutants qui doivent suivre scrupuleusement les prescriptions codifiées par des services spécialisés.

Le taylorisme raisonne dans l'espace conceptuel d'un monde entièrement connu (rationalité objective) : les conditions de départ, le cheminement et le point d'arrivée sont parfaitement déterminés. Le pilotage se réduit alors au contrôle : on évalue des écarts et on réagit pour les résorber. La connaissance n'appelle aucune interprétation ni décision, seulement une réaction. Cela indique la possibilité de coordonner chaque élément de l'organisation de façon optimale.

L'application de ces lois repose sur une boucle de rétroaction mécaniste (mesure, écart, correction) et ne demande qu'une maîtrise technique et non une intelligence de la situation, ce que F. Hubault appelle la régulation par les procédures [Hubault, 93] (cette intelligence de la situation, compréhension des causes de performance et de non performance fait dans ce cas parti de la compétence du modélisateur).

## 2.2 Le paradigme du pilotage

Aujourd'hui, les deux postulats sur lesquels repose le modèle de contrôle ne sont plus vérifiés. Le système technique<sup>2</sup> [Gille, 87] contemporain est caractérisé par la rapidité des progrès techniques, par un rythme accéléré d'innovation et de production de nouvelles connaissances, par une tendance à l'abstraction et à la dématérialisation (l'information l'emporte sur le support), et par une grande vitesse de déplacement de l'information et de l'énergie.

Le système socio-technique [Pave, 92], qui se situe à l'articulation des hommes et des objets manipulés et concerne les modes d'exploitation et les modalités de fonctionnement du système technique, a besoin d'évoluer pour s'adapter à ces nouvelles exigences.

Dans l'ancien contexte de production, l'objectif des entreprises était de satisfaire, à travers un produit, un marché en relative pénurie, ce que P. Mévellec appelle le modèle de la standardisation caractérisé par la production de masse de biens homogènes : chaque séquence est faite en un lieu unique, par des moyens, matériels et humains, homogènes. L'articulation entre les séquences est facilitée par des stocks tampons. La séparation est très nette entre le travail opérationnel, qui transforme la matière pour en faire des produits, et le travail fonctionnel qui prépare, coordonne et contrôle [Mévellec, 96a].

Avec la prise en compte des nouvelles attentes clients (année 70), les produits se caractérisent par une hétérogénéité croissante et intègrent une part grandissante de services : c'est le modèle de la variété. La notion de valeur d'un produit dépend de caractéristiques de plus en plus immatérielles (donc non maîtrisées à travers les données techniques de production) : délais de livraison, qualité des produits, etc.

---

<sup>2</sup>Le concept de système technique a été développé par B. Gille. Il se définit comme l'ensemble des cohérences et des complémentarités qui s'établissent à tous les niveaux entre les techniques, qui expriment leur caractère social et optimisent leurs potentialités productives. Les différentes techniques sont "*à des degrés divers dépendantes les unes des autres, et (qu') il faut nécessairement entre elles une certaine cohérence : cet ensemble de cohérences aux différents niveaux de toutes les structures de tous les ensembles et de toutes les filières compose ce que l'on peut appeler un système technique*" [Gille, 87]. A une époque donnée, dans une aire géographique donnée, la technique constitue donc un système cohérent.

Aujourd'hui les entreprises se positionnent par rapport à un ensemble de capacités : capacités à s'adapter à un environnement changeant, à répondre à une demande globale, à s'insérer dans un réseau complexe d'interdépendances, etc. C'est le modèle de la flexibilité, devenue nécessaire pour supporter les incertitudes sur les informations relatives à l'environnement. Au lieu de reconfigurer les produits à partir d'une organisation optimisée, en augmentant leurs variétés, les entreprises sont amenées à reconfigurer simultanément leur organisation et leur offre [Mévellec, 96a].

Ces changements réclament une modification des principes de rationalisation de la production. Comme le précisent G. De Terssac et P. Dubois, la rationalisation ne vise plus à tout prescrire, mais à faciliter la gestion de territoires non programmés, d'événements aléatoires et d'un environnement variable et incertain. Son champ s'élargit à l'ensemble du système productif dont elle tente de faciliter la coordination des différents niveaux de décision et elle s'accompagne d'une plus grande flexibilité décisionnelle dans le temps et dans l'espace. Elle intègre l'homme comme un acteur compétent, capable d'initiatives et de décisions et permet de passer d'une vision cybernétique à une vision plus cognitive du pilotage [De Terssac et Dubois, 92].

Le paradigme du pilotage repose ainsi sur l'existence d'une conduite interne, et donc sur la reconnaissance d'une autonomie cognitive des acteurs [Lorino, 95]. Il s'appuie sur le concept d'activité qui représente les "faire" de base de l'entreprise, qu'il s'agisse de tâches de fabrication (usiner, assembler, tester, traiter, etc.), de tâches techniques (dessiner, simuler, spécifier, concevoir, etc.) ou de tâches tertiaires (planifier, négocier un contrat, traiter une commande, faire la paie, etc.), ce qui en fait une notion générique, applicable à tous les niveaux de l'entreprise : on pilote l'usinage, la fabrication, la conception, la gestion, etc.

L'activité qui se trouve au centre de nombreuses méthodes de modélisation doit être vue, ici, comme un concept ouvert, et non comme une boîte noire figée et parfaitement identifiée ; sa conduite, ou plutôt son pilotage ne se limite pas à l'application ou à l'exécution de règles entièrement préconçues. Le pilotage résulte ainsi des choix, des lacunes, ou des imprévus du système de conception, c'est l'ensemble des choix laissés ouverts par les concepteurs du système productif [Hatchuel, 96].

P. Lorino parle alors de marge d'interprétation nécessaire au pilotage. S'il n'y avait pas marge d'interprétation, il y aurait contrôle ; tout ce qui n'est pas défini de manière déterministe et univoque est interprétable, peut et doit être interprété pour fonder l'action. En dernier ressort, l'action concrète de chaque acteur résultera de son interprétation propre, non du pilotage externe (figure 1.1). Piloter l'entreprise, ce n'est donc pas contrôler de manière déterministe les actions multiples d'acteurs multiples, mais agir sur des interprétations, influencer des interprétations [Lorino, 95].

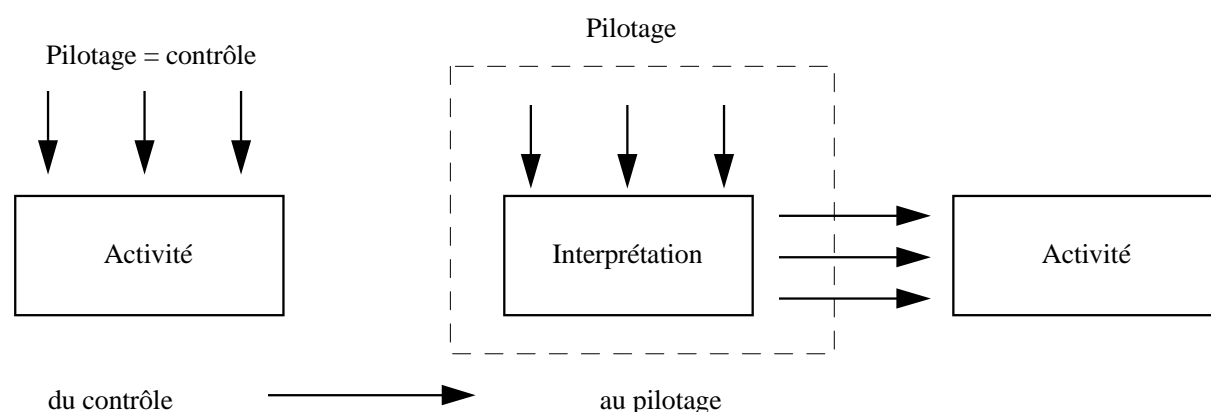


figure 1.1. Du contrôle au pilotage

Par la suite, nous utiliserons sciemment le terme de pilotage des activités qui devra être compris tel que nous venons de le décrire, c'est-à-dire se différenciant du contrôle et laissant une part d'interprétation. En termes de modélisation des systèmes de production, nous verrons par la suite comment enrichir les représentations orientées "activité" pour répondre à ces nouvelles attentes liées au pilotage.

### 2.3 Du contrôle au pilotage

Le sens du mot pilotage s'étend ainsi à l'ensemble des activités du système de production. La précision n'est pas inutile car, d'une manière classique en sciences de l'ingénieur, il adresse principalement (on pourrait presque dire exclusivement) le niveau physique (ou opérationnel).

De plus, un flou important entoure différentes notions telles que : pilotage, suivi, conduite, ou encore contrôle et commande.

J.F. Noubissié-Tchako, par exemple écrit : *"le pilotage temps réel des procédés industriels a pour objet le contrôle et la commande d'un système de production, à partir de consignes, de grandeurs mesurées, d'événements constatés, selon des lois et des règles définies"* [Noubissié-Tchako, 94]. Il positionne ensuite, sans ambiguïté de sa part, la fonction pilotage dans la structure globale du système de gestion de production : planification (long terme), programmation (moyen terme), ordonnancement (court terme), conduite (très court terme), commande (temps réel). Il englobe alors dans le pilotage, conduite et commande, pour en faire le niveau charnière entre le système de production et la gestion prévisionnelle. G. Beslon prend sensiblement la même position en écrivant que le système de pilotage doit *"effectuer le transfert des ordres de haut niveau émanant des fonctions décisionnelles de l'entreprise (essentiellement GPAO) vers le système physique de production (...) Le système de pilotage doit ensuite s'assurer de la bonne marche de la production et transmettre, vers la GPAO, un compte rendu de fabrication"* [Beslon, 95].

Par contre, B. Archimède intègre plusieurs de ces éléments dans sa définition du pilotage : *" nous appelons pilotage, la boucle mettant en jeu les quatre activités planifier, lancer, suivre et réagir. Nous appelons conduite uniquement les deux activités lancer et réagir"* [Archimède, 91].

La conduite repose en générale sur un principe de gestion événementielle alors que les fonctions de planification, ordonnancement, lancement sont déclenchées de manière périodique. B. Archimède précise à ce sujet que la boucle de pilotage (planifier, lancer, suivre, réagir) ne dispose pas du même référentiel temporel. Le centre de pilotage établit un plan, qui une fois lancé devient le plan de référence pour la conduite et n'est plus révisé par la fonction planification jusqu'à la fin de la période de référence : à l'intérieur de cette période, la fonction de conduite est assurée par une gestion événementielle du système piloté.

La distinction entre gestion événementielle et périodique nous semble importante. Cependant, nous pensons qu'il est nécessaire de pousser plus loin la réflexion sur ces points car la dimension temporelle ne nous paraît pas suffisante pour couvrir le champs des comportements. Cela reviendrait en effet à attribuer à un événement, ou à une mesure périodique, le même sens quelle que soit la situation, c'est-à-dire à le rendre acontextuel. Hors nous pensons, et nous développerons ce point, que le sens des événements, et donc la manière de les prendre en compte, ne peut pas être dissocié du contexte dans lequel ils sont apparus :



l'événement "panne d'une machine" n'a pas la même signification si la charge sur cette machine est importante ou non, si les délais à respecter sont serrés ou pas, etc.

Nous pensons qu'il est trop restrictif de construire la fonction de réaction, généralement destinée à gérer les aléas, sur la seule gestion des événements. Nous précisons, au chapitre 3, notre perception des aléas, mais il nous paraît réducteur de les confiner à la seule apparition d'événements, ceci pour au moins deux raisons :

- Ces derniers constituent rarement une donnée intrinsèque. Leur dimension temporelle doit être contextualisée afin de replacer l'événement dans une situation.
- L'aléa peut reposer sur l'analyse d'une mesure périodique (exemple de la Maîtrise Statistique des procédés).

Les objectifs du pilotage doivent donc être étendus et son support d'information précisé. Si d'un point de vue global son rôle consiste à limiter les déviations entre un comportement réel du système piloté, ou de l'activité pilotée, pour revenir à un niveau plus générique, et un comportement standard (nous dirons par la suite nominal), nous l'inscrivons dans un processus plus large que celui-ci.

L'interprétation place le pilotage de l'activité dans une dynamique d'interaction avec son environnement. Si des écarts peuvent être constatés entre une situation désirée et une situation effective (principe du contrôle cybernétique par l'erreur), leur cause n'est pas forcément à rechercher dans la structure interne de régulation (qui n'est par exemple pas adaptée à une modification de l'environnement). Enfin, les finalités affectés au système évolue, se modifie en fonction de l'évolution des projets de l'entreprise.

Le processus de régulation, ou d'*équilibration* pour reprendre une expression de J.L. Le Moigne [Le Moigne, 84] évolue ainsi du contrôle (objectifs stables, environnement non changeant) vers le pilotage (évolution des finalités, environnement changeant) (voir figure 1.2).

Bien sûr, entre ces deux extrémités<sup>3</sup>, de nombreux principes de régulation viendront s'intercaler, du contrôle adaptatif à la présence de retours d'états, d'observateurs ou encore de régulateur ultra-stable. La nécessité d'interprétation et l'évolution de paradigme nous semble justifiée par l'impossibilité aujourd'hui, vue la complexité des systèmes pilotés et la loi de la variété requise formulée par R. Ashby, de définir un contrôle complet.

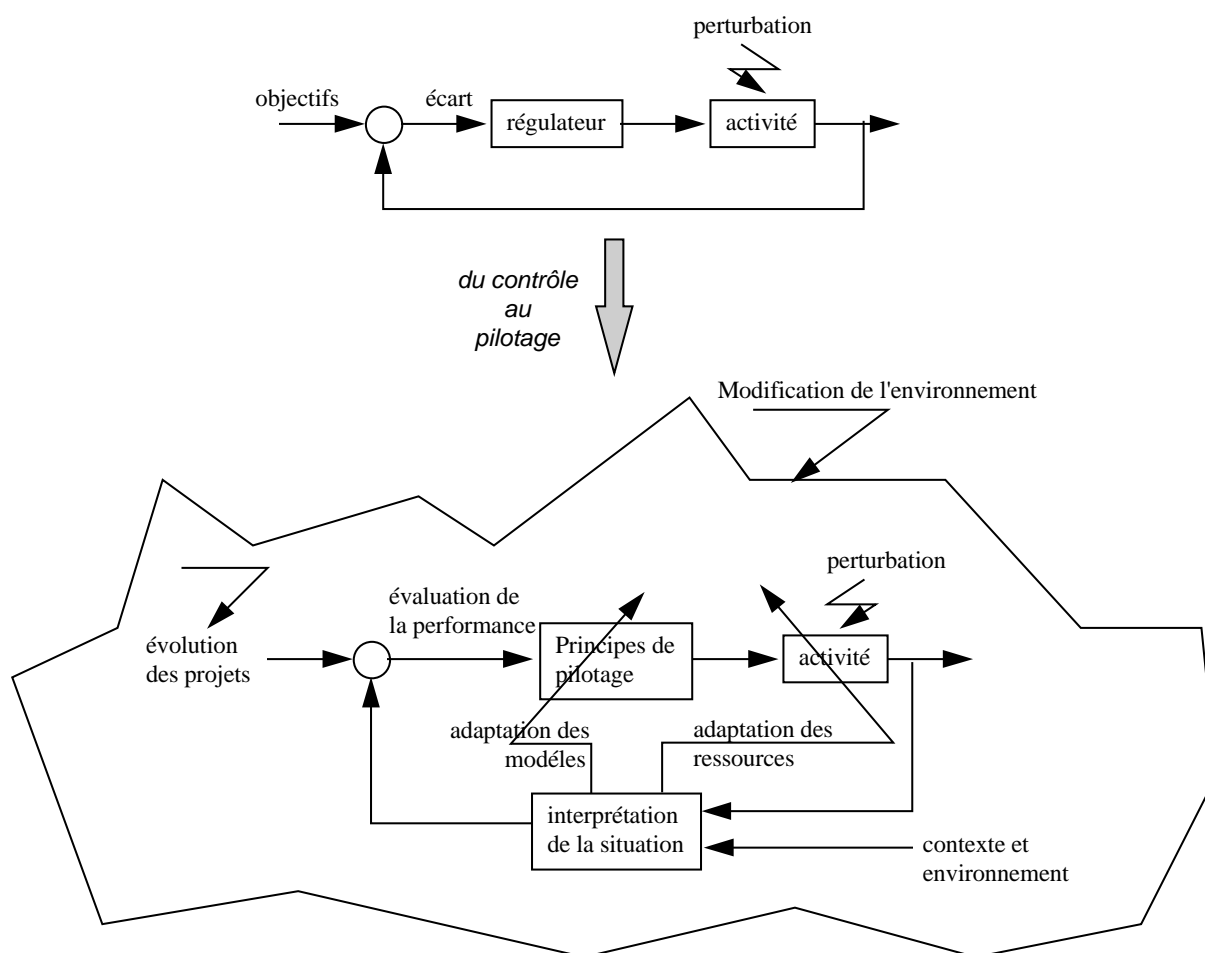


figure 1.2. Du contrôle au pilotage

<sup>3</sup>Nous avons volontairement placé le contrôle en boucle fermée à l'une des extrémités. Redescendre encore d'un niveau en partant des principes de contrôle en boucle ouverte, ou contrôle direct, ne nous semble pas pertinent car ces systèmes ne présentent aucune robustesse aux perturbations et deviennent par là même incontrôlables dans un environnement changeant.

## **2.4 Pilotage : conclusions**

Nous venons de mettre en évidence les changements imposés par le nouveau contexte de production. De nouvelles logiques de pilotage, basées sur les capacités cognitives des acteurs, sont nécessaires pour permettre les adaptations requises par l'évolution permanente des systèmes de production et l'instabilité de leur environnement. Ces logiques qui se distinguent du contrôle (au sens automatique du terme) accordent une place grandissante à l'autonomie des acteurs, à la reconnaissance de leurs capacités de raisonnement, à la gestion de leurs compétences.

Elles soulignent la nécessité de disposer de latitudes de décision dans le pilotage des activités, de possibilités de choix dans la gestion, la configuration et l'organisation des ressources nécessaires à l'atteinte des objectifs.

Ces différents éléments montrent l'importance des choix organisationnels dans le pilotage des entreprises. L'organisation ne doit plus être considérée comme un poids pour les acteurs, mais elle doit au contraire favoriser le développement de leur compétence, leur accorder les degrés de liberté nécessaires à toute adaptation, favoriser l'émergence de nouvelles solutions, tout en garantissant la pérennité de l'entreprise.

## **3. Du système productif à l'organisation productive**

### **3.1 Des axiomatiques variées**

Le premier point de ce chapitre a mis en évidence les nouvelles exigences du pilotage des activités d'une entreprise. L'importance accordée au rôle de l'homme, à son appartenance à l'organisation, introduisent une dimension souvent négligée dans l'étude des systèmes de production. En effet, le poids d'anciennes conceptions de la production a souvent conduit à considérer l'homme comme une ressource mobilisée au même titre que les autres ressources purement techniques, conduisant à une vue partielle du système de production. Par exemple, V. Giard précise que *" la production est une transformation de ressources appartenant à un système productif et conduisant à la création de biens et de services. Les ressources mobilisées à cette fin peuvent être de quatre types : des équipements (bâtiments, machines, ...), des hommes (opérateurs intervenant directement dans le processus de transformation ou contribuant d'une manière ou d'une autre à son bon déroulement), des*

*matières (matières premières, composants, ...) et des informations techniques ou procédurales (gammes, nomenclatures, consignes, procédures,...) ou relative à l'état du système productif* " [Giard, 88].

Cette vision orientée "ressource" du système de production constitue ce que A. Hatchuel appelle *l'axiomatique naturaliste* de la production chez les ingénieurs. Pour lui, cette vision s'intègre dans *l'axiomatique<sup>4</sup> fonctionnelle* de la production qui repose sur quatre concepts de base, les entités produites, les ressources, les tâches et le pilotage [Hatchuel, 96]. Mais comme le précise A. Hatchuel, cette axiomatique fonctionnelle " *occulte les conditions de production des savoirs de celui qui conçoit le système, ou de ceux qui en sont les acteurs. A vrai dire, deux notions usuelles nous servent à évoquer ces questions : celle de technologie et celle d'organisation* ". Il propose ensuite de substituer à la notion de technologie la notion d'ensemble de savoir distribué sur plusieurs acteurs et, à celle d'organisation, celle de système de relations entre acteurs, construisant ainsi ce qu'il appelle l'axiomatique "*savoirs-relations*"<sup>5</sup>.

La nécessité de prise en compte du comportement des acteurs, de leurs savoirs et des liens relationnels qui les réunissent au sein des entreprises, conduisent à parler désormais, comme le rappelle Y. Ouzrout, d'organisations productives plutôt que de système productif [Ouzrout, 96].

Ce changement de vocabulaire n'est pas seulement d'ordre sémantique. Il montre l'importance accordée dans la performance des entreprises à la notion d'organisation et aux acteurs qui la composent, aux relations qui les unissent et aux savoirs qui soutiennent leurs décisions.

---

<sup>4</sup>A. Hatchuel définit les axiomatiques comme des langages qui permettent d'être à la fois universel et contingent, de parler à l'économiste et au gestionnaire aussi bien qu'à l'ingénieur.

<sup>5</sup>A. Hatchuel propose ensuite une troisième axiomatique, l'axiomatique des régimes économiques, complémentaire des deux autres. L'axiomatique "fonctionnelle" construit le langage fondant l'identité du système de production, l'axiomatique "savoirs-relations" déploie les fondements du sens de l'action, l'axiomatique des régimes économiques réinscrit ce sens de l'action dans les logiques de conception et de pilotage (régime de compétition servant de référence).

### 3.2 Organisation : quelques précisions sémantiques

Le terme "organisation" est ambiguë. Il désigne à la fois un état (ce qui est organisé) et un processus (ce qui s'organise) [Jacot, 94]. De plus, différentes approches de la théories des organisations sont possibles, suivant le domaine d'étude. Ainsi, J. Woodward distingue quatre approches possibles [Woodward, 65] :

- L'approche sociologique : l'organisation est vue comme un système social, avec ses différentes parties et ses interdépendances.
- L'approche de psychologie individuelle, mise en évidence par Maslow puis Argyris, qui repose sur l'antagonisme existant entre les buts de l'organisation et les buts individuels. L'organisation est alors évaluée par sa capacité à atteindre ses buts, tout en permettant à chaque individu de se réaliser.
- L'approche économique, basée sur la théorie de la décision (certains auteurs l'appelle l'approche décisionnelle): développée à Carnegie Mellon Institute (March et Simon) cette approche se concentre sur les processus de décision.
- L'approche mathématique : elle considère l'organisation comme un système de processus mathématiques (approche de la recherche opérationnelle).

Outre les différentes approches possibles, qui conduisent à des vues différentes d'une même organisation, il existe une grande diversité des organisations soulignée, de façon peut-être un peu excessive, par H. Mintzberg " ... *on ne peut pas plus parler de l'organisation que l'on ne peut parler du mammifère, pas plus prescrire une méthode de fonctionnement pour les organisations qu'une même paire de lunettes pour l'humanité. Il y a beaucoup plus d'espèces dans le monde des organisations que dans le monde de la biologie* " [Mintzberg, 90]. Cependant, malgré cette diversité, la définition même d'une organisation impose la recherche d'un certain nombre d'attributs, de fonctions, permettant de la caractériser, c'est-à-dire permettant de la différencier d'un groupe, d'une collectivité ou d'une foule. Une organisation possède un certain nombre de traits caractéristiques qui permettent de la définir et d'identifier son rôle.

P. Bernoux, reprenant de nombreux travaux antérieurs, propose les traits suivants pour caractériser une organisation [Bernoux, 90] :

- Division des tâches (que C. Babbage avait identifié en 1834 comme le principe le plus important de tous ceux sur lesquels repose l'économie des manufactures). Elle fonde la différence entre un groupe structuré et celui qui ne l'est pas. Le travail à exécuter peut être formalisé par écrit ou non, il doit être réparti entre les individus d'une manière assez claire pour que l'un n'empiète pas sur l'autre. Il est donné pour une durée déterminée à ceux qui l'exécute. Pour H. Mintzberg, la division du travail entre diverses tâches à effectuer constitue l'un des deux besoins fondamentaux de toute activité humaine organisée, l'autre étant la coordination de ces tâches afin d'accomplir cette activité [Mintzberg, 90] (voir aussi [Jacot, 94] : la coordination est le corollaire de la division)
- Distribution des rôles : chaque membre de l'organisation se voit attribuer une tâche. La notion de rôle, qui renvoie à celle d'acteur, signifie que chacun apporte sa propre interprétation à l'accomplissement de sa fonction.
- Système d'autorité : son but est de veiller à l'adéquation du comportement de l'individu aux buts que les organisateurs ont fixés à l'organisation. Le système d'autorité est en principe de type pyramidal, et fonctionne généralement sur le modèle de la carrière. Il est fondé sur le principe de légitimité légale rationnelle [Weber, 63] (in [Bernoux, 90]) C. Ménard précise que du point de vue d'une organisation, la décision s'inscrit toujours dans une structure qui lie les participants entre eux et qui modère leurs choix. Ce caractère collectif de la décision en modifie la nature : tout choix intervient dans un contexte fait de relations d'autorité et de rapports hiérarchiques, que viennent renforcer les mécanismes de contrôle [Ménard, 93].
- Système de communication : il est destiné à mettre en relation les individus les uns avec les autres. Son fonctionnement ne doit pas se limiter au passage des injonctions de l'autorité ; il doit permettre les communications horizontales, et les remontées d'information. Les communications peuvent être plus ou moins formelles, plus ou moins centralisées.
- Système de contribution-rétribution : il précise ce que les membres doivent apporter et ce qu'ils doivent recevoir.

Toute organisation est ainsi caractérisée par une structure de liens hiérarchiques et fonctionnels qui assurent la stabilité, la cohésion et la dynamique du système. Elle permet de réduire la complexité du système en répartissant les fonctions et en assurant les liens nécessaires entre ses différents éléments. Les différentes formes de répartition et la nature des

liens existant entre les sous-ensembles de la structure conduiront à des formes d'organisation variées, aux finalités différentes.

La réduction de la complexité par décomposition d'un système en sous-systèmes conduit généralement à une vision hiérarchique de la structure. Cette vision pose cependant un certain nombre de problèmes, comme celui de la hiérarchisation des décisions (horizon temporel reposant sur la décomposition en trois niveaux, stratégique, tactique et opérationnel d'Anthony, nature du système d'information, rationalité des acteurs, etc.), de l'autonomie de décision des sous-systèmes (décentralisation des décisions ou commande des niveaux inférieurs par les niveaux supérieurs), et de leur intégration (contribution à un but commun, processus de coopération, de coordination, etc.).

La division des tâches ne constitue ainsi qu'un des fondements de l'organisation et conduit à traiter le problème des dépendances entre les différentes tâches. Pour réduire ce problème, J.D. Thompson proposa une démarche de simplification des problèmes de coordination par modification de la structure de l'organisation. Il classa les problèmes de coordination en trois classes de difficultés croissantes et proposa un mode de coordination plus particulièrement adapté à chacune de ces classes [Thompson, 67] :

- La coordination par règle est utilisée à l'intérieur d'une même structure et permet de réguler ce qu'il appelle la *pooled interdependence* (dépendance au sein d'un même groupe).
- La coordination par planification traite le problème de la coordination d'activités se déroulant séquentiellement (*sequential interdependence*).
- La coordination par ajustement mutuel permet enfin de répondre aux interdépendances mutuelles cas le plus difficile à son avis de coordination (*reciprocal interdependence*).

Sa vision de simplification de la structure, pour établir si possible une coordination par règle, sera complétée par les travaux de P.R. Lawrence et J.W. Lorsch. Pour ces auteurs, il existe deux manières de résoudre ces problèmes de coordination :

- En les réduisant, par modification de la structure, ou par introduction de jeux (*slack*).
- En augmentant les capacités d'intégration de l'organisation, soit par le développement de systèmes d'information verticaux, soit par le développement de systèmes d'information latéraux.

Leurs travaux ont montré les limites du pilotage hiérarchisé dans un environnement diversifié. L'adaptation à l'environnement passe par une décentralisation des décisions associée à de fortes capacités d'intégration [Lawrence et Lorsch, 69].

### 3.3 Organisation et structures de pilotage du système physique

Avant d'étudier plus en détail les incidences en termes d'organisation que contient l'approche de pilotage que nous développons, nous allons décrire brièvement quelques architectures de pilotage des systèmes de production afin de les mettre en parallèle avec les travaux réalisés en théorie des organisations. Ces architectures ont pour objet une répartition de la décision dans un réseau fonctionnel. Si la décomposition hiérarchique a longtemps été la voie essentielle de distribution, le développement important des outils informatiques a permis d'envisager des modèles d'architecture de pilotage plus "plats".

#### 3.3.1 Architecture hiérarchisée

Dans ces architectures, le problème du pilotage est décomposé en sous-problèmes, en général suivant un horizon temporel (long terme, moyen terme, court terme, temps réel), ou un niveau d'agrégation spatial (voir par exemple [Neubert *et al*, 94] et la décomposition proposée dans l'approche NBS<sup>6</sup> pour le concept CIM : usine, atelier, cellule, poste de travail, équipement).

L'architecture de pilotage développe ainsi le problème de la division des tâches, de l'agrégation des informations et de l'intégration des décisions. Dans ce type d'architecture, les unités de pilotage sont fonctionnellement relativement indépendantes. Les unités d'un même niveau n'échangent pas directement d'informations entre elles et disposent de peu de marge d'autonomie. La séparation en niveaux de détail conduit généralement à des architectures de type maître-esclave : chaque unité d'un niveau élabore ses décisions en fonction des *ordres* reçus du niveau immédiatement supérieur, et des résultats transmis par le niveau inférieur.

---

<sup>6</sup> Le National Bureau of Standard américain a défini un modèle pour les systèmes de production, repartit en différents niveaux d'abstraction. L'absence de caractéristiques détaillées pour les différentes couches conduit généralement à superposer une décomposition temporelle sur la décomposition spatiale (niveau le plus élevé = planification à long terme).



Ce principe de contrôle reposant sur une structure arborescente (que l'on peut rapprocher par exemple de l'organigramme des fonctions de l'entreprise) entraîne une certaine rigidité dans le pilotage. Notamment la définition préalable nécessaire à cette déclinaison et le manque d'accointances entre les modules entraînent une faible résistance aux perturbations et une remontée permanente des problèmes.

### **3.3.2 Architecture décentralisée**

Outre la distribution qui permet la partition d'un objectif en sous-objectifs, ces structures reposent sur une décentralisation des décisions qui d'un point de vue topologique s'organisent dans un maillage de communication. Les relations ne sont plus seulement verticales, mais les unités d'un même niveau doivent coopérer pour atteindre, soit leur but, soit un but commun.

Ces structures, bien que plus compliquées du point de vue de l'intégration (on fait référence ici à l'intégration au sens de Lorsch et Lawrence, c'est-à-dire verticale et horizontale) permettent une meilleure absorption des perturbations. Elles assurent une plus grande autonomie, à la fois des centres de décision, mais aussi des niveaux de l'architecture car la gestion de ces perturbations est d'abord envisagée localement puis remontée si le niveau est impuissant.

Différents types d'architecture existent, avec ou sans coordonnateur. Dans ce dernier cas, il s'agit de structure égalitaire, dans laquelle toutes les unités de pilotage peuvent communiquer entre elles.

En France, l'architecture CODECO, développée au Laboratoire d'Automatique de Grenoble propose un modèle à deux niveaux hiérarchiques, un niveau supérieur "coordonnateur d'atelier" coordonnant au niveau inférieur un ensemble d'unités de pilotage locales coopérant pour limiter l'effet des perturbations [Kallel, 85] [Pellet, 85].

La structure égalitaire propose d'aller plus loin en supprimant le coordonnateur et en distribuant la décision de manière égalitaire sur un ensemble d'unités autonomes.

### **3.3.3 Conclusion sur l'organisation des structures de pilotage du système physique**

Aucune de ces structures ne constitue LA meilleure façon de concevoir l'organisation du pilotage. Les approches hiérarchisée et décentralisée se complètent plus qu'elles ne s'opposent. La hiérarchisation, en décomposant le problème, simplifie la conception des unités de pilotage. La coordination, propre aux architectures décentralisées, permet une meilleure prise en compte des perturbations à un niveau donné.

Les structures décentralisées coordonnées semblent mieux adaptées dans un environnement incertain mais elles entraînent de nombreuses difficultés soulevées par les théoriciens de l'organisation :

- Problème de coordination : l'autonomie des centres de décision implique une grande capacité d'intégration des décisions pour obtenir une cohérence globale.
- Problème de distribution des rôles : part d'autonomie confiée aux centres de décision, distribution des compétences, délégation.

## **4. Des formes d'organisation contingentes**

De fait, il n'y a pas de bonnes ni de mauvaises organisations, il n'y a que des organisations plus ou moins bien adaptées au contexte. L'organisation est un artefact comme le soulignent M. Crozier et E. Friedberg qui considèrent les organisations "*comme un phénomène totalement autonome et artificiel, dont il faut expliquer l'existence comme celle d'un construit contingent*" [Crozier et Friedberg, 77].

Nous allons voir dans ce paragraphe comment l'organisation peut s'adapter au nouveau contexte de production afin de mieux le servir, et montrer en quoi les nouvelles formes d'organisation du travail, dites qualifiantes ou apprenantes, permettent de mieux répondre aux nouvelles exigences du pilotage des activités que nous avons posées au début de ce chapitre.

## 4.1 Le modèle d'organisation taylorien<sup>7</sup>

F.W. Taylor fut le défenseur de l'organisation scientifique du travail. Sa vision, appliquer les méthodes des sciences de l'ingénieur au problème d'organisation du travail d'atelier, s'appuie sur une vision mécaniste de l'organisation. Elle conduit à une déqualification des emplois et à une dichotomie entre le travail de direction et d'exécution.

### 4.1.1 Division du travail et interactions

La division du travail et la distribution des rôles s'appuient sur trois points principaux [Combes, 95] :

- L'individualisation : chaque individu a une tâche propre, distincte, qui ne requiert aucune interaction avec d'autres personnes pour sa réalisation.
- La parcellisation : le travail de fabrication est décomposé jusqu'au stade d'une tâche élémentaire ou d'un geste. Les temps et les mouvements (donc le savoir-faire) sont imposés aux exécutants.
- La séparation rigoureuse des fonctions de conception, coordination et contrôle d'une part, qui sont du domaine exclusif de la hiérarchie, d'exécution d'autre part.

Le principe de division du travail préconisé par F.W. Taylor repose sur un système de délégation successive d'autorité reposant sur un principe hiérarchique et permettant d'éviter la saturation au sommet.

L'homme au travail, l'ouvrier, est toujours présenté comme un individu isolé, jamais situé à l'intérieur d'un groupe [Bernoux, 90]. Son travail de même que sa performance sont complètement individualisés et excluent toute interaction avec d'autres exécutants. Le principe de contribution-rénumération repose alors sur le postulat de l'homme économique et rationnel (la seule motivation est l'argent) et l'incitation comportementale sur celui de la récompense individuelle : prime aux cadences, salaire à la pièce, etc.

---

<sup>7</sup>Le modèle d'organisation taylorien n'est pas seulement du à F.W. Taylor mort dans les années 20. Son approche fut complétée par de nombreux travaux, Ford, Anthony, Fayol, etc. On devrait peut-être parler du modèle classique d'organisation, mais l'association à Taylor nous semble porteuse d'un effet métaphorique important.

De plus, puisque l'ensemble complet des activités à accomplir est spécifié d'avance, une fois ces activités réparties entre unités et entre individus de l'organisation, les problèmes de coordination ou de coopération ne se posent pas.

#### 4.1.2 Décision et apprentissage

Les degrés de liberté dans la prise de décision, notamment pour les exécutants, sont pratiquement inexistantes. La codification du travail par la direction pose un cadre prescriptif que doivent suivre les ouvriers. Taylor disait qu'un bon ouvrier fait ce qu'on lui dit de faire et ne discute pas, ce qui exclut d'une part toute prise d'initiative dans la décision (on applique les principes) et toute forme de coopération (on ne discute pas).

Dès lors que les connaissances de l'opérateur ont été codifiées et que ce dernier en a été dépossédé, l'apprentissage repose sur la spécialisation technique et conduit à une fonction ou courbe d'apprentissage (figure 1.3). Plus une tâche est répétée<sup>8</sup>, plus l'ouvrier l'accomplit rapidement. Par ailleurs, plus la tâche est simple, plus l'apprentissage se fait rapidement et plus elle peut être accomplie par une personne n'ayant qu'un minimum de qualification, ce qui laisse entrevoir l'obtention d'un rendement maximal de l'ouvrier (voire le remplacement de l'homme par la machine). C'est un des principes de *direction scientifique* : sélection scientifique des ouvriers et perfectionnement de leurs qualités (démarche kaizen d'amélioration de la conformité) et habileté (diminution du temps requis).

---

<sup>8</sup>Voir à ce sujet le chapitre *grandeur et décadence de la production de masse* dans le livre *le système qui va changer le monde* [Womack et al, 92]

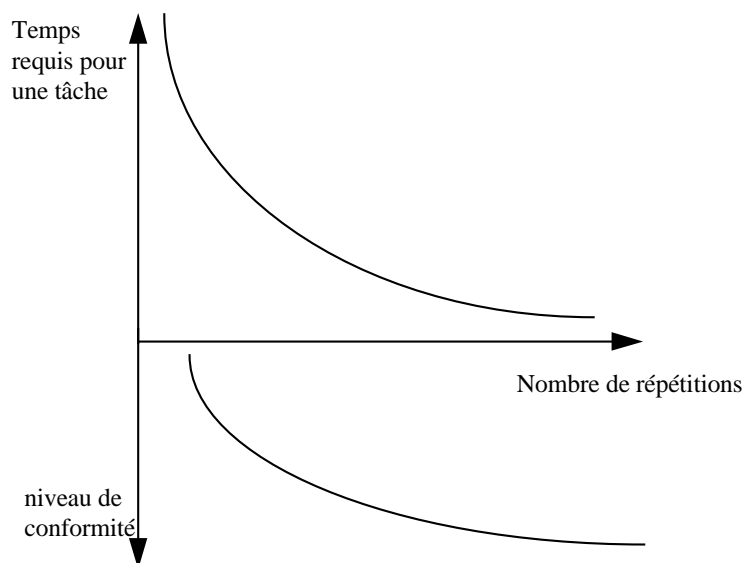


figure 1.3. Courbe d'apprentissage dans le modèle classique

Le principe d'optimisation de la décision et de l'apprentissage repose alors :

- Pour la direction, sur la décomposition fine des tâches, l'analyse scientifique des connaissances afférentes et l'élaboration d'une loi de commande.
- Pour l'exécutant, sur l'apprentissage par répétition de la loi de commande prescrite.

### 4.1.3 Flexibilité

Dans ce type d'organisation du travail, la constitution de stocks importants de produits finis ou semis-finis, ou de matières premières, entraîne une certaine flexibilité en volume.

Cependant, par la très grande spécialisation qu'il introduit, ce type d'organisation est relativement mal adapté pour répondre à des modifications de la demande. En ce sens, il est contingent à son époque de production de masse ou la durée de vie des produits était relativement longue, leur variété faible, et l'innovation technologique peu importante.

### 4.1.4 Conclusion

Le type d'organisation mécaniste (taylorienne) a beaucoup de mal à s'adapter aux changements, à l'évolution de l'environnement et encore plus à innover. Il est conçu pour fonctionner avec un environnement interne caractérisé par une technologie aux possibilités limitées (essentiellement liée à la mécanisation) et répondre à un environnement externe

prédéfini, considéré comme stable sur une longue période. De plus, les principes de spécialisation, de séparation et d'individualisation des tâches conduisent à faire de chaque acteur un exécutant isolé sans lien avec les finalités de l'entreprise, ce qui a conduit à l'absence de communications horizontales.

L'organisation du travail est alors un processus rationnel et technique, ce que P. Bernoux souligne : "*Taylor systématise un ensemble d'idées et de représentations dont le rôle est donc de permettre une rationalisation de son action, ce qui est la définition même d'une idéologie. Elle repose sur une conception du rôle de la science servant à résoudre les rapports entre les hommes*" [Bernoux, 90]. Cette vision de l'organisation tend à occulter les aspects humains et à faire oublier que les tâches à accomplir sont souvent beaucoup plus complexes, plus difficiles, et moins clairement délimitées que celles que peuvent accomplir la plupart des machines.

Ceci est devenu d'autant plus vrai que l'environnement dans lequel évoluent ces organisations a beaucoup changé. L'environnement externe s'est profondément modifié ce qui rend illusoire la recherche d'une solution durable et optimale à cet environnement qu'on ne peut plus vraiment prédéfinir. L'environnement interne, notamment au niveau du système de fabrication, est caractérisé par un contexte technologique en évolution constante, dominé par une innovation permanente dans de très nombreux domaines (électronique, informatique, traitement de surface, mécanique, etc.) ce qui rend difficile toute idée de rationalisation technique des tâches.

Pour reprendre M. Crozier, dans une organisation, l'homme ne peut pas être considéré *comme une main*, ni même non plus seulement *comme une main et un coeur*, mais qu'il est aussi et avant tout *une tête, c'est-à-dire une liberté*, ou en termes plus concrets, un agent autonome qui est capable de calcul et de manipulation et qui s'adapte et invente en fonction des circonstances et des mouvements de ses partenaires [Crozier et Friedberg, 77].

## **4.2 Les nouvelles formes d'organisations**

Plusieurs paramètres vont permettre une évolution vers de nouvelles formes d'organisation.

Tout d'abord, la perception de l'homme autrement que comme un manipulateur de gueuse de fonte, et la prise en compte de ses aspirations, ont amené différents courants à placer l'acteur au coeur des décisions dans l'organisation.

Parallèlement à cette prise en compte sociale, les nouvelles exigences en termes de pilotage des activités ont inscrit l'organisation dans une logique de l'autonomie et de l'apprentissage. D'inspiration socio-technique, elle reconnaît ainsi à l'acteur une dimension propre et la possibilité d'un pilotage autonome et cognitif de son activité, reposant sur la mise en oeuvre de son savoir faire.

#### **4.2.1 Le courant psycho-sociologique**

La prise en compte d'autres motivations de la part des acteurs de l'organisation, que celle de l'argent, n'est pas vraiment récente. M Boisvert qui décrit dans [Boisvert, 85] les grandes traditions de pensée de la théorie des organisations, montre que dès la fin des années 20, sous l'impulsion de E. Mayo, apparaît une tentative de se libérer de la conception très sommaire des individus que propose le taylorisme. La célèbre expérience de Hawthorne (citée dans de nombreux ouvrages et dont une description détaillée est donnée dans [Bernoux, 90]) avait montré l'insuffisance de la variable économique pour expliquer l'action ouvrière, celle-ci découlant aussi des désirs de contacts humains et de valorisation de soi par les autres. Plus tard, un auteur comme Maslow établira une pyramide de la hiérarchie des besoins permettant de représenter de façon cohérente les diverses bases de motivation de l'action humaine.

Ce courant de pensée, d'inspiration socio-psychologique conduira à rechercher des modèles organisationnels plus humains : c'est-à-dire qui favorisent l'engagement personnel, la croissance psychologique, la participation, l'auto-contrôle et l'autonomie responsable. Il semble désormais acquis que l'organisation doit tenir compte non seulement de l'enchaînement logique d'opérations de production, mais aussi du désir des travailleurs de vivre comme humains dans l'entreprise [Boisvert, 85]. Un certain nombre de solutions seront expérimentées dans les entreprises, notamment l'élargissement des tâches<sup>9</sup> et la rotation des postes de travail<sup>10</sup> [Herzberg, 71].

---

<sup>9</sup>L'élargissement des tâches consiste en un regroupement de tâches parcellisées pour former des tâches élargies, les tâches restant de même nature, ce regroupement n'implique pas une augmentation des compétences ni des responsabilités (augmentation de la charge horizontale).

<sup>10</sup>La rotation des postes de travail consiste à faire tourner les individus sur différents postes de travail composés chacun de tâches parcellisées ou modérément élargies.

Si l'école de pensée sociale a eu parfois tendance à réduire les problèmes organisationnels à des problèmes psychologiques individuels elle aura tout de même contribué à une certaine humanisation du travail et à la mise en évidence du besoin de reconnaissance de l'homme dans l'entreprise.

#### **4.2.2 De l'enrichissement des tâches aux organisations enrichissantes**

C'est dans les années 60 que F. Herzberg introduira l'idée d'enrichissement "individuel" des tâches. Ce principe rompt avec celui de la parcellisation du travail et confère une certaine responsabilité aux opérateurs de base. Il consiste à adjoindre aux tâches d'exécution confiées aux ouvriers et employés, un certain nombre de tâches périphériques ou de gestion (réglage, contrôle, entretien...). Ce phénomène se heurtera en fait à deux problèmes [Combes, 95] :

- L'introduction d'une compétition excessive entre les personnes. Très axé sur la satisfaction individuelle, l'enrichissement des tâches ne se préoccupe pas des phénomènes de groupe ni des aspects collectifs du travail.
- La difficulté de généraliser le modèle du travail enrichi à tous les individus.

Plus tard, cette notion sera étendue à l'organisation à travers le concept d'organisation enrichissante que M. Freyssenet, par exemple, décrit comme des organisations dans lesquelles les conducteurs d'installations automatisées se voient confier la première maintenance, le contrôle qualité, le changement d'outils et le suivi de production, et sont parfois invités à s'auto-organiser pour remplir ces fonctions. Il souligne lui aussi les limites de cette approche en précisant que "*ces attributions nouvelles, volontiers considérées comme induisant une requalification du travail, et donnant lieu, souvent, à une formation et une classification plus élevée, sont en fait la juxtaposition d'opérations devenues partielles, dont l'exécution ne donne pas, seule, les moyens d'appréhender le fonctionnement réel de l'installation dans son ensemble et d'en acquérir l'intelligence pratique, condition à toute requalification effective et durable*" [Freyssenet, 92].

#### **4.2.3 L'acteur au centre de l'organisation**

L'approche décisionnelle des organisations conduite par J.G. March et H.A. Simon fera une synthèse entre l'approche rationnelle et l'approche relations humaines et constituera une référence en la matière. Ils ont ainsi regroupé les propositions concernant le comportement dans les organisations en trois grandes catégories non contradictoires [March et Simon, 69] :



- Les propositions qui partent de la supposition que les membres d'une organisation sont des *instruments passifs*, capables d'assumer un travail et de recevoir des directives, mais qui ne sont pas susceptibles de faire preuve d'initiative ou d'exercer une influence importante.
- Les propositions qui partent de la supposition que les personnes viennent dans les organisations avec *leurs propres attitudes, leur propre système de valeur, leurs propres objectifs* ; qu'elles doivent être motivées ou stimulées pour adopter un comportement de participation au sein de l'organisation ; que les objectifs des personnes et ceux de l'organisation ne sont pas exactement parallèles.
- Les propositions qui partent de la supposition que les membres d'une organisation ont pour tâche de *prendre des décisions et de résoudre des problèmes*, et que la perception et le processus de pensée sont particulièrement importants pour expliquer les comportements dans les organisations.

March et Simon complètent alors en précisant qu'une théorie adéquate des comportements humains dans les organisations devra donc tenir compte du comportement humain sous son aspect *d'agent d'exécution*, sous son aspect de *motivation et d'attitudes*, et sous son aspect *rationnel*.

Chaque individu peut alors être considéré comme un acteur interprétant un rôle dans l'organisation et exerçant un certain pouvoir<sup>11</sup> [Crozier et Friedberg, 77] ce qui conduira P. Bernoux à poser trois postulats [Bernoux, 90] :

1. Les hommes n'acceptent jamais d'être traités comme des moyens au service de buts que les organisateurs fixent à l'organisation. Il n'y a pas de rationalité unique, chacun poursuit ses propres objectifs.
2. La liberté relative des acteurs déjà soulignée par M. Crozier et E. Friedberg. Dans une organisation, tout acteur garde une possibilité de jeu autonome, qu'il utilise toujours plus ou moins. Mettre l'accent sur cette autonomie, c'est aussi mettre l'accent sur le moyen de régulation de ces libertés qu'est le pouvoir. Pour C. Ménard, l'impossibilité de

définir avec précision tous les objectifs auxquels les participants adhèreraient en transférant leur capacité de décider à d'autres agents, et l'impossibilité d'établir des règles claires tenant compte de toutes les contingences dans la mise en place des sanctions, redonnent nécessairement aux membres de l'organisation une marge d'autonomie dans les choix [Ménard, 93].

3. Dans ces jeux de pouvoir, les stratégies sont toujours rationnelles, mais d'une rationalité limitée<sup>12</sup>. Face à une situation donnée, il y a toujours plusieurs solutions possibles, jamais une meilleure solution ne s'impose, ce qui dénie l'idée taylorienne du *one best way*. D'une part, un groupe humain est en perpétuelle évolution, les stratégies de ses membres changent, leur comportement est relativement imprévisible. D'autre part, les acteurs n'ont jamais le loisir d'inventorier toutes les solutions et s'arrêtent à celle qui présente pour eux le minimum d'inconvénients ou qui correspond à un seuil minimal de satisfaction.

Ces principes, qui posent la décision des acteurs au centre de l'organisation, rompent avec la vision classique. La vie organisationnelle correspond à la construction de chaînes moyens-fin qui résultent de la combinaison de choix individuels dans l'atteinte des objectifs globaux (en insistant sur la décision consciente et rationnelle des acteurs, cette approche ignore cependant certains aspects pas toujours conscients et rationnels de la motivation humaine).

Le travail des dirigeants ne nécessite pas l'intervention directe et quotidienne (rappelons que pour l'école classique le dirigeant commande), mais doit plutôt être un travail de coordination des contributions des membres de l'organisation, en vue de l'atteinte d'objectifs communs et du bien-être individuel [Boisvert, 85].

---

<sup>11</sup> M. Crozier et E. Friedberg posent dans *l'acteur et le système* [Crozier et Friedberg, 77], le pouvoir comme fondement de l'action organisée. La liberté relative des acteurs est d'ailleurs présentée comme une source d'incertitude pour les autres et donc une source de pouvoir sur les acteurs.

<sup>12</sup>Le concept de rationalité limitée est du à A.H. Simon : le décideur n'est pas omniscient, et pourtant il doit prendre des décisions. Il accepte alors des solutions jugées satisfaisantes, non pas parce qu'il préfère le moins au plus, mais parce qu'il ne peut pas trouver la "meilleure".

Le principe de rationalité limitée des acteurs conjugué à une complexité reconnue des organisations favorise alors une rationalité locale de la décision conduisant au développement d'une logique de l'autonomie et de la responsabilité des acteurs.

#### **4.2.4 Les organisations qualifiantes et apprenantes**

Nous avons souligné en introduction de ce chapitre le caractère artificiel des organisations résultant d'un construit contingent. Ces adaptations organisationnelles résultent à la fois de réponses à des changements intervenant dans l'environnement des entreprises et de prises en compte de caractéristiques ou de dynamique internes.

Nous avons déjà évoqué le contexte externe dans lequel évoluent les entreprises. Les changements contingents au nouveau système technique, l'évolution rapide des technologies utilisées dans les systèmes de production imposent une adaptation constante et rapide des "savoir" et "savoir-faire". La performance du système de production n'est plus seulement liée à sa capacité à maîtriser une technologie, un savoir ou un savoir-faire particulier, mais aussi à sa capacité à intégrer, c'est-à-dire à maîtriser le plus rapidement possible de nouvelles technologies.

Le déplacement des exigences concurrentielles d'un point de vue purement financier (prix de revient) vers des exigences intégrant aussi des critères de qualité, de mise à disposition, d'intégration de service, lié à une obsolescence rapide des produits et donc à la nécessité de savoir reconfigurer rapidement les lignes de production, met la mobilisation de la compétence des acteurs au centre de la performance industrielle. Leurs capacités d'apprentissage, d'adaptation et d'intégration de nouvelles configurations, la fiabilisation de l'existant, constitueront des éléments discriminants de performance. Le rapport *Made in America* note à ce sujet l'une des faiblesses des méthodes américaines " *les firmes américaines ont bien du mal à faire pièce aux performances japonaises en matière de mise au point des modèles. Les marchés étant fragmentés et les clients plus exigeants, les japonais ont pris les moyens d'introduire beaucoup de vraies nouveautés, et plus vite*" [Dertouzos et al., 90].

Comme le souligne ensuite ce rapport, les meilleures firmes ont compris que les progrès dans la qualité et la flexibilité exigent du personnel un niveau d'engagement, de responsabilité et de connaissance qu'on ne peut obtenir par la contrainte, ni par des améliorations superficielles dans la politique de ressources humaines.

Les savoirs, qu'ils soient liés à l'utilisation des ressources, à la gestion des flux, à la vente, à la fabrication, etc., ne peuvent plus être considérés comme complets et durables. Ils sont soumis à la dépréciation, à l'obsolescence et à une remise en question permanente. L'existence de savoirs périssables ou incomplets a alors amené à poser le problème de l'apprentissage sur ces savoirs.

La problématique de l'adaptation des organisations à un environnement changeant, voire à un environnement turbulent, devient un élément clé de la performance des entreprises. Ces considérations ont conduit à développer les notions "d'organisation qualifiante" et "d'organisation apprenante" que J. Brilman décrit comme l'organisation "*qui améliore non seulement les connaissances et compétences de ses membres, mais se construit comme un système d'apprentissage collectif qui apprend en permanence et se transforme pour atteindre ses objectifs*" [Brilman, 95].

*"Une organisation qualifiante est une organisation conçue en fonction des compétences présentes des personnes qu'elle emploie, (...), ou recrute et de manière à les développer continûment grâce aux situations qu'elle aménage et aux dispositifs d'apprentissage qu'elle comprend. Une organisation est donc construite pour évoluer en fonction des compétences et de leur progression. Les organisations apprenantes n'utilisent pas seulement les savoirs (assimilés à des compétences) constitués a priori, mais mettent en relation des savoirs, de sorte à ce que se créent des compétences de par le fonctionnement de l'organisation"* [Perrin et Micaelli, 96].

Ces deux points sont particulièrement importants, car ils soulignent la volonté de l'organisation, d'une part de développer les compétences individuelles des acteurs et d'autre part de mettre en relation ces acteurs afin de créer de nouvelles compétences. Il situe l'apprentissage dans une démarche objectivée de l'organisation qui l'impulse, l'autre facette étant son caractère émergent, c'est-à-dire provenant des acteurs.

Deux échelles sont donc à prendre en compte : l'individu et l'organisation (ou le système) sans qu'il y ait de relation directe entre l'apprentissage individuel et organisationnel. Il ne suffit pas en effet que chaque individu d'une organisation apprenne pour que globalement l'organisation apprenne. L'apprentissage organisationnel est un processus par lequel une organisation acquiert des connaissances nouvelles en tant qu'organisation, des connaissances capitalisées

par l'organisation et non simplement par les individus qui la constituent. Il améliore ainsi la robustesse de l'organisation par rapport aux acteurs.

Pour B. Levitt et J.G. March, les comportements dans une organisation sont fondés sur des routines, c'est-à-dire sur un ensemble de règles et procédures formelles, de croyances, de paradigmes, de cultures et de connaissances plus informelles. L'expérience et le passé viennent ainsi modifier les anciennes routines, ou en créer de nouvelles [Levitt et March, 88].

Enfin, l'apprentissage organisationnel peut être vu comme une révision du modèle d'origine pour l'adapter aux modèles, comme une boucle de retour des individus vers l'organisation. On évolue ainsi vers une réduction de l'écart entre l'artefact, le modèle de départ, et celui, réellement utilisé par les acteurs.

Parmi les différentes formes<sup>13</sup> d'apprentissage, trois catégories principales sont généralement retenues (Basées sur un classification en cinq catégories de Bateson) [Argyris et Schön, 78] :

- Apprentissage I (*simple loop*) : ou apprentissage primaire ; l'ensemble des possibilités est figé, la réponse correspond à un choix dans cet ensemble. Au niveau organisationnel, ce type d'apprentissage représente un apprentissage à l'intérieur des règles établies, au niveau individuel, c'est un apprentissage de type savoir faire. On se place ici dans une logique de gestion de l'expérience accumulée.
- Apprentissage II (*double loop*) : ou apprentissage secondaire dans lequel il y a modification de l'ensemble des possibilités ou un apprentissage sur les règles au niveau organisationnel. C'est un apprentissage de type compréhension qui se place dans une logique de l'expérimentation.
- Apprentissage III (*deutero learning*) correspondant à l'apprentissage de type logique suivant : apprendre à apprendre.

Ce processus d'adaptation de l'entreprise s'appuie donc sur un noyau stable, ce que B. Levitt et J.G. March ont appelé les routines, constituant la structure de l'entreprise, et peut se décomposer en deux sous-processus :

---

<sup>13</sup>Forme se distingue ici de méthode. La forme représente la cible de l'apprentissage quand la méthode représente le moyen d'y parvenir (par exemple : par expérience, par mimétisme, par apprentissage supervisé ou non, etc.)

- un processus d'adaptation à courte échéance, qualifié de résolution de problèmes,
- un processus d'adaptation à long terme, qualifié d'apprentissage

L'apprentissage se manifeste toujours par un changement, il dépasse un simple phénomène d'adaptation temporaire aux contraintes et modifications de l'environnement (interne ou externe). Il suppose l'élaboration de nouveaux savoirs stables, réutilisables et donc le plus souvent explicitement mémorisés. Cette mémorisation peut prendre des aspects formels (guides, procédures, notes, etc.) afin de dépasser le cadre de l'apprentissage individuel pour induire un apprentissage organisationnel. Elle peut aussi prendre des aspects informels, à travers la modification des interactions, des relations existant entre les différents acteurs, la constitution d'équipes de travail, etc.

## 5. Conclusion

La difficulté d'extension des concepts de l'apprentissage individuel à l'apprentissage organisationnel réside dans le fait que l'organisation ne peut pas être appréhendée comme un "méta-individu" (sous peine d'accorder à l'organisation une dimension anthropomorphique). L'apprentissage individuel est une condition de l'apprentissage organisationnel ou, tout au moins, l'apprentissage collectif trouve son origine dans l'individu. Si les modalités de l'apprentissage ont été relativement bien décrites au niveau individuel, elles ne permettent pas une extension *ipso facto* à l'organisation, car il ne suffit pas que chaque individu apprenne pour que l'organisation apprenne.

Cependant, replacer l'apprentissage dans une démarche objectivée de l'organisation le pose comme un élément moteur dans l'adaptation des entreprises et l'inscrit dans une volonté de placer les compétences des acteurs au centre des processus décisionnels. Ce point nous paraît d'une grande importance dans le pilotage des activités tel que nous l'avons présenté, et par la suite dans la démarche conduisant vers des organisations proactives.

Ce chapitre nous a permis de mettre en évidence l'importance de l'activité cognitive des acteurs dans le pilotage des entreprises et l'importance des modes d'organisation dans la mise en oeuvre des processus d'adaptation.

Nous avons aussi évoqué l'importance de la flexibilité dans la gestion des ressources afin de disposer des possibilités d'action, de réaction et de proaction nécessaires à la prise en compte

des nouvelles contraintes du pilotage. Nous développerons au chapitre 2 notre perception de la flexibilité, relativement au pilotage des activités et à la démarche proactive.

Enfin, les notions d'objectifs et d'indicateurs de performances, placées au coeur même du pilotage, prennent une importance particulière et constituent les vecteurs aux travers desquels s'exprimera l'amélioration de la performance industrielle et l'évaluation du pilotage des activités. Nous verrons au chapitre 3 comment utiliser ces notions pour les appliquer à la gestion des aléas dans le cadre de la spécification d'un système de pilotage proactif.





## **Chapitre 2 :**

### **activité, réactivité et proactivité**



## 1. Introduction

Dans la littérature, selon les auteurs, différents concepts sont regroupés derrière le mot flexibilité. De plus, la notion de réactivité, souvent associée à celle de flexibilité, n'en est pas toujours différenciée de façon claire et explicite. Ce chapitre a pour objet de proposer une lecture de ces concepts, adaptée aux nouvelles exigences de pilotage des activités présentées au chapitre 1. Nous préciserons et définirons alors le concept de proactivité qui viendra enrichir les notions de flexibilité et de réactivité afin de présenter une architecture pour le pilotage réactif et proactif des activités.

## 2. Flexibilité des systèmes de production

L'évolution des systèmes de production et de leur environnement a conduit à un déplacement des critères de performance industrielle des entreprises. Si la valeur d'un produit était autrefois essentiellement caractérisée par son coût<sup>14</sup>, elle intègre désormais d'autres aspects, tels que :

- la qualité,
- les possibilités de personnalisation qui créent la diversité dans une même famille de produits,
- le délai de mise à disposition dans un contexte de variété et de flux tendus (ce délai serait considérablement réduit si, comme dans le modèle de standardisation les entreprises possédaient des stocks suffisants de produits finis),
- les services associés (maintenance, réseau de distributeurs, assistance, etc..).

Ces nouvelles exigences ont entraîné de nouveaux principes de rationalisation de la production, écartant l'idée d'optimisation du système de production parfois envisagée dans le cadre du modèle de standardisation, et mettant en avant la capacité des systèmes de

---

<sup>14</sup> Ce propos est tempéré car H. Ford, en 1925, écrivait déjà, à propos de l'analyse de la valeur : "*au lieu de me préoccuper de la concurrence ou de la demande, j'établis mes prix sur une estimation de ce que la clientèle [...] pourra ou voudra payer pour nos voitures*" [Ford, 25]. Il indique déjà que le prix (pourra payer) n'est pas le seul critère de décision de l'acheteur.

production à intégrer la variété. Ainsi, pour répondre à ces nouvelles exigences et garantir leur pérennité dans un contexte de mutation généralisée, les entreprises ont développé la flexibilité de leur système de production.

Au sens large, la flexibilité caractérise la possibilité pour une organisation de s'adapter à son environnement [Cohendet et Llerena, 90]. Elle s'étend bien au delà des aspects technologiques liés aux moyens physiques de production et intègre les choix d'organisation et de processus décisionnel. Elle peut alors être définie comme "*la capacité ou l'aptitude et la rapidité d'un système industriel à créer et à gérer la variété de façon économique et continue, afin de s'adapter aux changements de l'environnement, externe ou interne, tout en maintenant son équilibre*" [Okongwu, 90].

Cette définition met en évidence que la flexibilité est une caractéristique d'un système, capacité ou aptitude, qui peut être exploitée afin de répondre à l'évolution d'une situation. Elle note le coût lié à une telle adaptation, posant le dilemme entre productivité et flexibilité souligné par Cohendet et Llerena dans [Cohendet et Llerena, 90]. Elle introduit par ailleurs la notion de rapidité avec laquelle le système réalise cette adaptation, plus significative à notre sens, du comportement du système que de son "*aptitude à*". Cette notion de rapidité est plutôt à rapprocher de la réactivité généralement définie comme la capacité d'un système à élaborer une solution admissible suite à une stimulation, dans un délai suffisant par rapport à la dynamique de son environnement (ou de façon rapide et pertinente).

Plusieurs décompositions de la flexibilité ont été proposées, ce qui ajoute encore à l'ambiguïté du terme. Les différentes formes de flexibilité peuvent être regroupées dans deux classes :

- La flexibilité potentielle, reposant sur les potentialités offertes par les ressources mises en oeuvre dans le pilotage d'une activité,
- la flexibilité opérationnelle, reposant sur les capacités du pilotage à exploiter ces potentialités.

## **2.1 Flexibilité potentielle**

La notion de flexibilité potentielle développée dans [Erschler et Terssac, 88] repose sur l'existence d'alternatives en termes de choix de ressources, de procédés, etc. (l'AFGI parle de

réserve de ressources [AFGI, 92]). Elle caractérise donc les possibilités d'adaptation offertes par les ressources mises en oeuvre dans une activité.

Elle peut concerner des adaptations en volume de production (flexibilité en volume) caractérisant la capacité des ressources à accepter des volumes de production différents ou des adaptations en type de produit, caractérisant la possibilité des ressources de traiter des produits différents.

Ce type de flexibilité est aussi appelé flexibilité des moyens lorsqu'on s'intéresse au niveau du système physique de production. Il est alors lié à la nature et aux capacités des ressources mises en oeuvre dans la production, comme par exemple l'utilisation de machines ou d'opérateurs polyvalents, de machines outils à commande numérique, de postes de travail reconfigurables, etc.

Cette flexibilité liée à chaque ressource mise en oeuvre peut aussi être vue à un niveau plus agrégé, relatif à l'organisation ou l'implantation d'un ensemble de ressources. Elle est relative aux différentes possibilités de transformation des processus de production. Des choix relatifs aux transformations spatiales (transport d'un produit d'un point à un autre sans modification du produit) ou aux transformations temporelles (existence de points de stockage par exemple) accroissent ou limitent la flexibilité potentielle d'un ensemble de ressources. De même, l'implantation physique d'une ressource partagée peut modifier la flexibilité de l'ensemble du système de production.

Ce type de flexibilité reste dans tous les cas lié à des problèmes de conception des moyens de production :

- conception d'une ressource (reconfigurable, polyvalente, magasin d'outils, etc.),
- conception de la configuration d'un ensemble de ressources, ou de l'implantation d'un atelier (flot ou ligne de production, stock de découplage, système de transport souple, etc.),
- ou encore conception des modes de gestion en usage pour l'utilisation de ces ressources.

Il peut aussi être lié à la flexibilité potentielle associée à la conception d'un produit, comme par exemple l'existence de gammes de remplacement.

La flexibilité potentielle est ainsi à rapprocher de ce que certains auteurs appellent la flexibilité statique (voir par exemple [Cohendet *et al*, 92] ou [AFGI, 92]), qui relève de l'existence, à un instant donné, d'un ensemble plus ou moins vaste d'opportunités (capacité de répondre à des variations prévisibles). Elle intègre selon nous une dimension temporelle qui repose sur l'existence dans la conception même des produits et ressources du système de production de possibilités de temporisation dans l'exécution : existence de marge dans le processus de production, ou différenciation retardée des produits (qui permet de retarder l'exécution des opérations sensibles).

## 2.2 Flexibilité opérationnelle

Il ne suffit pas qu'un système de production possède une flexibilité intrinsèque pour qu'il réponde à des variations de son environnement, qu'elles soient prévisibles ou non. Il est nécessaire pour cela que ces possibilités (ou potentialités) soient connues du niveau de pilotage afin d'être exploitées. Ceci caractérise alors la flexibilité opérationnelle, significative de l'aptitude du pilotage à exploiter la flexibilité potentielle.

On peut rapprocher ces propos de la définition donnée dans [Cohendet *et al*, 92] :

*"la recherche de flexibilité peut être assimilée à la recherche du maintien d'une cohérence dans la conduite d'entreprise par rapport à l'environnement qu'elle doit affronter [...] La flexibilité traduit la possibilité pour un décideur de pouvoir à tout moment reconsidérer ses choix de manière à maintenir l'optimalité de sa décision."*

Si l'idée de maintien de "l'optimalité de la décision" n'est, dans un contexte de rationalité limitée, pas toujours fondée, cette définition souligne l'importance du décideur, de la pertinence et de la profondeur de ses modèles décisionnels. L'idée de réversibilité des choix à tout moment, bien que sans doute excessive, repose d'une part sur la dimension temporelle de la flexibilité potentielle, mais aussi sur la connaissance de l'objet piloté (connaissance des marges, de gammes de remplacement, de procédures alternatives, etc.).

La flexibilité opérationnelle correspond ainsi à la capacité d'une organisation ou d'un individu à utiliser la flexibilité potentielle afin d'adapter la conduite de ses activités à des variations. Elle est à rapprocher de ce que certains auteurs appellent la flexibilité dynamique qui est une

capacité (on parle bien ici de capacité, non plus de possibilité) à réagir continûment dans le temps, aux variations de l'environnement, ou capacité à répondre à des variations imprévisibles, donc non modélisables *a priori*.

Elle fait référence à l'existence de possibilités à l'intérieur du processus de décision (le décideur), de degrés d'autonomie et de choix des acteurs leur permettant de prendre des initiatives ou de chercher des solutions innovantes. En termes de choix organisationnel, la flexibilité opérationnelle s'inscrit dans un cadre rapprochant l'activité de la décision des acteurs (raccourcissement des boucles de pilotage) et développant leur activité cognitive et leurs compétences.

Ainsi, comme le propose Hubault [Hubault, 93], le stratégique (flexibilité, évolutivité du système ) doit s'articuler de manière cohérente à un opérationnel repensé dans des termes (autonomie, intelligibilité des variations, capacité de décision) susceptibles de le potentialiser réellement.

### **3. Réactivité et pilotage**

La flexibilité potentielle résulte avant tout de caractéristiques propres aux ressources mises en oeuvre dans la réalisation de l'activité (capacité, polyvalence, adaptabilité, etc.), certains choix d'implantation ou de gestion de ces ressources pouvant modifier cette première caractéristique (stockages, goulet, ressources dédiées ou partagées, etc.).

La flexibilité opérationnelle caractérise la capacité du décideur à exploiter la flexibilité potentielle du système qu'il pilote pour pouvoir reconsidérer ses choix. Elle repose sur la qualité des modèles et du système d'information dont dispose le décideur pour adapter son processus décisionnel.

La réactivité correspond à l'utilisation effective de la flexibilité dans le pilotage, et donc à son efficacité. Alors que la flexibilité est caractéristique de la capacité d'un système, la réactivité est significative de son comportement et s'identifie dans l'action

Le premier frein à l'amélioration de la réactivité au sein des entreprises provient avant tout de l'incapacité des systèmes de gestion à exploiter de manière satisfaisante toute la flexibilité potentielle des systèmes de production. Les processus de pilotage des activités de l'entreprise

introduisent ainsi une restriction de l'ensemble des possibilités potentiellement offertes (figure 2.1) [Neubert *et al*, 97].

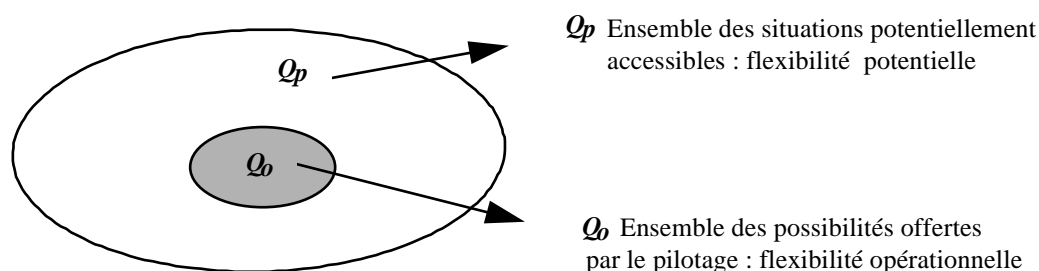


figure 2.1. Flexibilité potentielle et flexibilité opérationnelle

La flexibilité opérationnelle est relative à une disponibilité de choix autour d'une zone de pilotage caractérisant la conduite nominale de l'activité. Nous définissons ainsi autour de l'activité un comportement de réactivité, permettant, dans un cadre plus ou moins étendu, d'adapter le pilotage en réponse à des changements de situation. Ce processus d'adaptation qui s'appuie sur des degrés plus ou moins élevés de flexibilité opérationnelle permet de répondre localement aux sollicitations agissant sur l'activité et qui peuvent être :

- endogènes, par exemple une panne machine ou l'absence non programmée d'un opérateur.
- exogènes, c'est-à-dire provenant de l'environnement telles qu'un retard d'approvisionnement ou une modification dans la demande.

Une limitation théorique de réactivité pour une activité est donnée par l'ensemble des configurations potentiellement accessibles. La situation la plus favorable consisterait à étendre l'ensemble des possibilités offertes par le pilotage à l'ensemble des situations potentiellement accessibles. Dans ce cas, à tout instant, le niveau de réactivité, conformément aux possibilités physiques du système piloté serait le meilleur (exploitation possible de toute la flexibilité potentielle). Cohendet note d'ailleurs [Cohendet *et al*, 1992] que mieux la flexibilité physique est gérée, moins son niveau a besoin d'être élevé et donc son coût important (réduction du dilemme flexibilité/productivité).

On replace alors la réactivité dans le cadre du pilotage défini au chapitre 1 ; pour garantir le plus de flexibilité opérationnelle possible, il n'est plus seulement demandé aux acteurs qui pilotent les activités d'exécuter des ordres qui seraient déclinés du niveau stratégique, assimilé



à une prévision de long terme fiable, au niveau opérationnel. A tous les niveaux de décision ils doivent apprendre, prendre des initiatives, de sorte à développer les compétences nécessaires à un pilotage plus efficient de leurs activités, c'est-à-dire à un pilotage :

- mieux adapté aux situations récurrentes,
- capable de généraliser, de résoudre des problèmes inconnus ou plus complexes,
- innovant, ouvrant de nouvelles perspectives.

Comme le montre la figure 2.2, les nouvelles exigences de flexibilité modifient sensiblement l'architecture du système d'information. Le passage du paradigme du contrôle, reposant sur le principe de l'information parfaite et du travail prescriptif (ordre), au paradigme du pilotage reposant sur le principe d'autonomie relative des acteurs, d'information imparfaite et d'enrichissement des connaissances, met l'accent sur la décentralisation des décisions et l'importance de l'apprentissage à tous les niveaux.

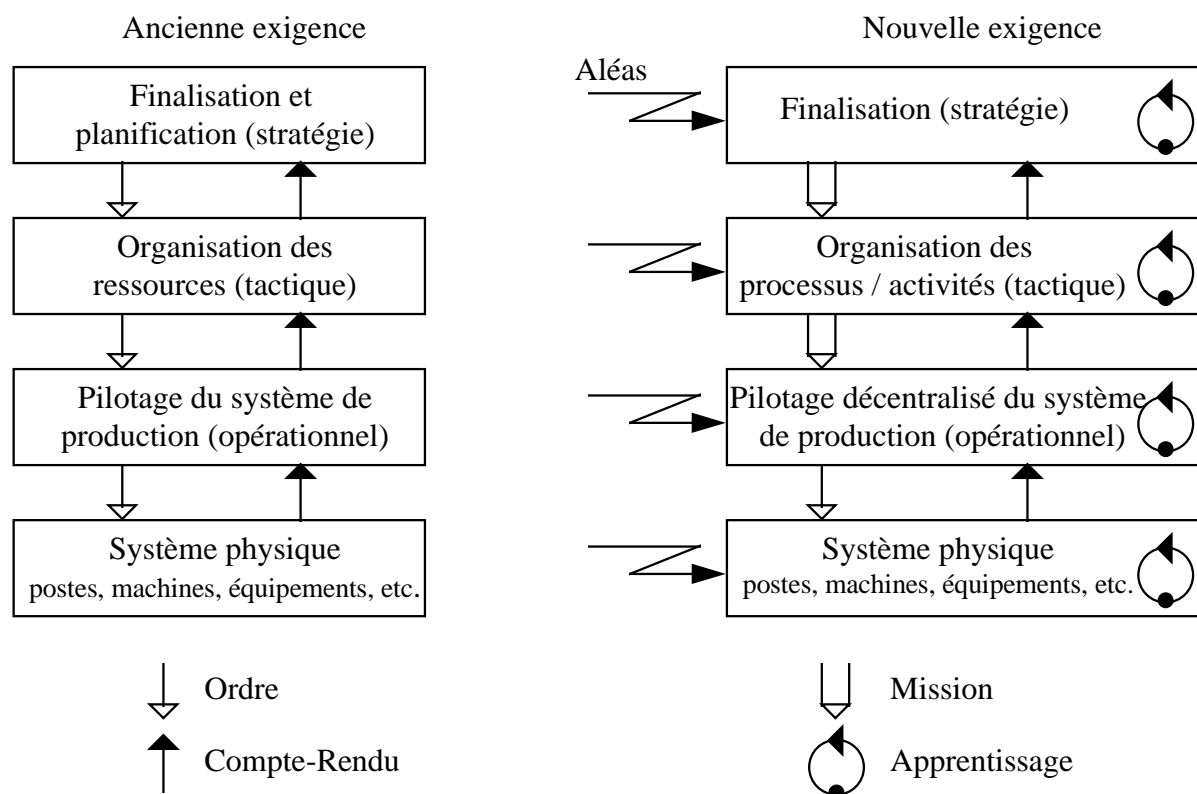


figure 2.2. Ancienne et nouvelle exigence du pilotage du système de production  
[ORGALEA, 97]

Aujourd'hui, l'évolution rapide de l'environnement, son absence de lisibilité, la complexité croissante des processus de production, conduisent à considérer comme nécessaire une adaptation permanente des entreprises. Le pilotage repose sur une compréhension approfondie de l'activité pilotée. F. Hubault parle alors d'approche anthropocentrique de l'efficacité. Il faut donner à voir, donner à comprendre, rendre intelligible : l'apprentissage, la fiabilisation, passent par l'accessibilité des opérateurs aux zones de flux ou se nouent les événements qu'ils ont à traiter, mais que trop souvent on a pris soin de leur rendre invisibles, inintelligibles [Hubault, 93] .

Ce problème d'amélioration lié à une meilleure connaissance de l'activité pilotée est aussi souligné par M. Freyssenet : "*L'amélioration des performances d'une ligne automatisée par une équipe de base implique que celle-ci puisse en connaître le fonctionnement réel, au delà de ce qu'en donne à voir l'installation elle-même. La transparence, l'intelligibilité et*

*l'analysibilité des machines en fonctionnement réel deviennent des conditions de l'amélioration des performances par l'équipe qui en a la charge" [Freysenet, 92].*

L'avantage concurrentiel des entreprises réside désormais dans leur aptitude à utiliser la flexibilité potentielle dont elles disposent de manière à anticiper ou provoquer le changement, dans leur faculté d'apprentissage et d'enrichissement des connaissances et dans leur capacité de reconfiguration et de réorganisation. Nous allons montrer comment ces exigences s'articulent autour de la notion de flexibilité et proposer une architecture de pilotage réactif et proactif.

#### **4. Proactivité : un concept encore mal défini**

Le terme "proactif" est issu de travaux et recherches en stratégies d'entreprise. Bien que relativement ancien, ce n'est que récemment, depuis les années 1990, que le concept de proactivité s'est généralisé, au point de faire l'objet aujourd'hui d'une utilisation marketing par de nombreuses entreprises de service.

##### **4.1 Proactivité et stratégies d'entreprise**

La première référence à la notion de proactivité date de 1975 [Zalesznik, 1975] et concerne les stratégies d'entreprises face aux situations de déséquilibre. "Les conditions d'environnement sont susceptibles d'influencer le fonctionnement des organisations et les modes de structuration et vice versa. (...) on est donc en présence d'une situation de déséquilibre que l'organisation va tenter d'ordonner, de rééquilibrer. Cette réponse, elle peut s'articuler autour de trois stratégies principales :

- Homéostatiques, qui répondent au besoin de préserver l'organisation des bouleversements internes.
- Médiatives, où l'organisation se modifie intérieurement pour faire face aux perturbations venues de l'environnement.
- Proactives, stratégies qui vont agir sur cet environnement pour le modifier".

Reprenant les propos de A. Zalesznik, H. Denis [Denis, 1990] précise :

"Les stratégies organisationnelles de réponse à l'environnement (...) peuvent être :

- Proactives : où l'organisation ajuste en quelque sorte son environnement et tente de dominer la turbulence par des stratégies de type offensif, lesquelles lui permettent de recevoir les ressources dont elle a besoin pour remplir sa mission (...).
- Réactives : où l'organisation ajuste et adapte ses fonctionnements internes, qu'il s'agisse de sa gestion, de sa structure, de sa technologie, etc., par des stratégies de type défensif qui lui permettent de fonctionner dans des conditions de turbulences (...)
- Passives : où l'organisation est immobile, soit parce qu'elle ne perçoit pas les modifications qui se dessinent dans son environnement, soit parce qu'elle a confiance dans ses capacités de réponse pour maîtriser l'environnement, suite à des succès dans le passé."

Plus récemment, s'inspirant en partie eux aussi de A. Zalesznik, J. Allouche et G. Schmidt préconisent de changer le modèle stratégique classique du "*fit*", par lequel la stratégie est définie comme l'adaptation réactive des ressources de l'entreprise aux opportunités, au modèle dit de "l'intention stratégique" par lequel, partant de son héritage organisationnel, des capacités et des compétences dont elle dispose, l'entreprise cherche à se reconfigurer ("reengineering"), à développer sa rapidité de réaction, sa flexibilité et sa proactivité [Allouche et Schmidt, 95].

Le prospectiviste M. Godet [Godet, 91a], [Godet, 91b] distingue quatre types d'attitude possibles face à l'incertitude et aux potentialités de l'avenir. Comme le montre le tableau 2.1, M. Godet regroupe sous le signe de l'anticipation, la préactivité et la proactivité.

<b>Attitudes</b>	<b>types de scénarios privilégiés</b>	<b>stratégies privilégiées</b>
passive	prospective inutile	fil de l'eau
réactive	exploratoire	adaptative
préactive	exploratoire et anticipative	préventive
proactive	exploratoire, anticipative et normative (objectifs)	volontariste

tableau 2.1. Une variation des attitudes d'après M. Godet

## 4.2 Proactivité et décision publique

### 4.2.1 Le cas de la planification

La Direction des ressources naturelles et le Service des parcs du Canada proposent des plans de gestion des ressources pour résoudre des problèmes, questions et préoccupations (PQP) existants ou potentiels soulignés dans le plan de conservation du parc [DRN, 92]. Par cette planification, ces organismes publics tentent de prévoir les problèmes potentiels de gestion des ressources et d'empêcher qu'ils ne se produisent. Deux modes de planification sont ainsi distingués par les experts gouvernementaux :

"On peut adopter deux plans distincts de gestion des ressources selon la nature des besoins. Il y a d'abord le plan "proactif" définissant une ligne de conduite générale pour anticiper ou prévenir la dégradation des ressources et maintenir l'intégrité de l'écosystème du parc. Le deuxième plan est "réactif" et donne une ligne de conduite spécifique pour résoudre un problème, une question ou une préoccupation donnée et pour rétablir l'intégrité des écosystèmes du parc (...) :

- Gestion proactive : méthode de gestion qui vise à intégrer bon sens et logique à la gestion et à cerner les préoccupations bien avant qu'elles ne deviennent des problèmes.
- Gestion réactive : méthode de gestion qui permet de résoudre rétrospectivement des problèmes connus."

### 4.2.2 Le cas de la définition d'une politique universitaire

Dans un document de réflexion sur le réseau de l'université du Québec, le bureau de la planification, a tenté d'élaborer une autre conception de l'université et de son rôle dans

l'avenir : "De cet appel au décloisonnement, à la diversification et à une contribution sociale plus tangible du service universitaire, naît une nouvelle façon d'appréhender la réalité universitaire qui nous amène à vouloir dépasser la vision d'une université ouverte et accueillante aux besoins de toutes sortes, pour donner vie à une université proactive, qui va elle-même à la rencontre des problématiques et des équipes où elle peut jouer pleinement son rôle" [Bureau, 96]. A cette idée de prise d'initiative, ce document intègre de nombreux aspects de la proaction développés dans le projet ORGALEA et insiste sur l'importance :

**- De l'action collective et de la coopération :** " L'Université du Québec voit dans cette vision renouvelée du service universitaire, un prolongement naturel à l'action collective de son réseau. (...) et c'est avec cette vision réseau que l'Université du Québec perçoit dans un engagement universitaire plus proactif. (...) Passer de l'accessibilité à l'engagement proactif implique une nouvelle vision du service universitaire, où il s'agit moins de réfléchir en termes d'activités à dispenser ou à offrir, et davantage en termes d'activités à développer et à poursuivre conjointement avec d'autres agents sociaux. (...) l'université engagée a avantage à rechercher des partenariats qui conduisent à l'enrichissement mutuel (...) Capacité de recourir de plus en plus au travail collaboratif et à l'apprentissage en groupe. Mais en même temps, capacité d'autonomie et de prise en charge de son propre développement intellectuel dans une visée de formation à vie."

**- D'une approche multivues des problèmes :** "Si pour l'université proactivement engagée, l'équipe transdisciplinaire et multifonctionnelle apparaît comme l'espace pédagogique par excellence, c'est que tout en permettant plus de souplesse et de diversité dans le croisement des ressources et des besoins, en vue d'un service universitaire plus personnalisé, elle offre aussi un potentiel considérable pour le rapprochement des personnes."

**- Des connaissances :** "Par ailleurs, la révolution du savoir, dans laquelle la conception d'une université proactive et engagée prend racine, se vit au quotidien et rejoint chacun et chacune d'entre nous à mesure que la connaissance devient matière première de la majorité de nos activités."

**- De la décentralisation et de la cohérence des décisions prises par des décideurs autonomes :** "Par un service plus personnalisé, elle [l'université] entend plutôt un service capable d'articuler sagement et promptement ses ressources, tant les objets de connaissance,

que les personnes et leurs expertises, pour arriver à des séquences, des formules et des formats plus variés et plus flexibles à l'égard des contraintes et préférences des groupes, comme des personnes. C'est dire que le décloisonnement et la diversification, que suggère le concept de l'engagement proactif (...) Elle entend ainsi maximiser sa souplesse et sa rapidité d'organisation en tenant compte dans une seule rationalité des besoins, des contraintes, des disponibilités, des complicités et des volontés".

**- De l'anticipation :** "Ainsi, il nous semble permis de penser que l'université engagée proactivement n'a d'autre choix que de maintenir la saine distance critique indispensable à l'anticipation des besoins à plus long terme"

### 4.3 Proactivité et décisions opérationnelles

Le concept de proactivité a dépassé le cadre stratégique des décisions à long terme et est aujourd'hui largement diffusé dans le domaine des décisions opérationnelles.

#### 4.3.1 Domaine de la maintenance

Lee [Lee, 1995] utilise le terme de *proactive maintenance* et s'appuie lui aussi sur la créativité des acteurs et la détection de conditions de dégradation pour la détection précoce des pannes éventuelles. Le concept de maintenance proactive (recherche et suppression des causes) est largement repris aujourd'hui aux cotés de ceux de maintenance préventive et maintenance prédictive, au sens de recherche et de suppression des effets de la panne.

Le concept de maintenance proactive est aussi porté par des entreprises. Sur le Web, par exemple, certaines d'entre elles proposent la mise en place de tels systèmes :

La société Diagnostics (<http://www.diagnostics.com/>) propose par exemple la mise en place de système de maintenance proactif : "Proactive vs. Preventive/Predictive : imagine being able to pinpoint and eliminate a disease long before any symptoms occur in your body. It would save you money in doctor bills and keep you out of the hospital in the long run. This is the advantage of proactive maintenance over predictive maintenance. Proactive maintenance commissions corrective actions aimed at the sources of failure. It is designed to extend the life of mechanical machinery as opposed to 1) making repairs when often nothing is broken, 2)

accommodating failure as routine and normal, and 3) preempting crisis failure maintenance - all of which are characteristics of the predictive/preventive disciplines."

Une autre société de maintenance, Applied Proactive Technologies, Inc. (APT) (<http://www.altacompanies.com/apt>) propose cette décomposition, réactive, préventive, prédictive, et proactive : " RFM (Reliability Focused Maintenance) Enhances your maintenance strategies to increase your systems operating availability and integrity. Without disruption, systems are diagnosed and defects or system deterioration are identified early so that you can proactively decide what corrective action is required, if any. Whether to maintain, repair or replace, when to shutdown - if at all, and who you will utilize to do the work - all become options" .

#### **4.3.2 Domaine des systèmes d'information**

Les technologies de l'information ont beaucoup évolué sans que les besoins en normalisation soient toujours respectés. Il s'ensuit des problèmes de compatibilité de l'information, autant sur le plan de la communication (niveau physique d'échange) que des données (ou contenu, niveau logique d'échange). Stuart E. Madnick propose dans [Madnick, 95] deux stratégies susceptibles de servir de catalyseur envers l'utilisation efficace des technologies de l'information. Les stratégies proactives consistent à planifier et anticiper les besoins de l'entreprise en utilisant des systèmes de communication homogènes et normalisés (niveau physique) et des bases de données réparties homogènes respectant des architectures souples mais normalisées. Les stratégies réactives permettent d'adapter, au cas par cas la communication de systèmes hétérogènes par la mise en oeuvre d'interfaces adaptées. Pour cet auteur, proactif implique une gestion de la normalisation, réactif se réfère à une gestion plus efficace d'organisation géographiquement dispersées. Il se place ici sur le plan du transfert et de l'accessibilité de l'information, indépendamment de son sens.

Marsha Lewin présidente de Marsha D. Lewin Associates Inc., spécialisée en gestion de projet et systèmes d'information définit la notion de système d'information proactif (<http://www.ctt-inc.com>) "Business information that just sits there is only doing half its job (...). Welcome to the world of proactive information systems that focus data on your decision process and tell you what needs to be done, not what's already happened. (...) Although the basis of a proactive system is sharing of the same information amongst all parties ".



Strategic Technologies propose un système d'information proactif, basé sur la capitalisation d'informations concernant différents problèmes répertoriés dans le domaine informatique, afin de faire gagner du temps aux entreprises et de leur éviter des problèmes à venir : "(...) As part of this commitment, we are introducing "Proactive Emailer". The idea behind this is to compose a technical newsletter that would include known fixes/work arounds, major patch updates, known bugs, new product releases, etc... Our intent would be to provide you with accurate information that would save you time, and prevent future problems."

A noter aussi dans le domaine de la santé la revue mensuelle "Proactive Risk Management" (ISSN Number 1078-456X) qui propose une capitalisation d'information dans le but d'anticiper et de prévenir : "Each monthly issue of this practical newsletter provides reports and analyses of actual incidents, hazards, and other possible causes of risk in the healthcare setting. Using these dramatic, verified reports, the risk managers in healthcare facilities can anticipate and prevent problems to protect patients and staff."

### 4.4 Proactivité et Intelligence Artificielle

La notion de proactivité est utilisée par la communauté de l'Intelligence Artificielle Distribuée pour désigner un comportement particulier des agents modélisés. Ainsi, à propos des systèmes Multi-agents sur lesquels nous reviendrons plus en détails au chapitre 4, Wooldridge et Jennings [Wooldridge et Jennings, 95], précisent que les agents sont dotés :

- de réactivité, ils perçoivent leur environnement et répondent en temps utile à ses changements,
- de proactivité ("*Pro-activeness*"), ils ne se contentent pas de répondre aux changements de l'environnement mais ont aussi des comportements dirigés par des buts (goal-directed behavior) qui se manifestent par des prises d'initiatives.

### 4.5 Proactivité : conclusions

A l'origine le terme de proactif a surtout été utilisé dans le sens de stratégies offensives dans le but de modifier l'environnement afin de dominer les perturbations ou les déséquilibres.

La notion de proactivité est ainsi toujours attachée à celle de gestion des perturbations ou des aléas, avec comme but principal d'empêcher leur apparition. Elle met ainsi en oeuvre différents points caractéristiques d'un système proactif :

- L'anticipation et la prévention : il s'agit alors de détecter de manière précoce des conditions de dégradation.
- La mémorisation et la capitalisation de l'expérience : la mise en place et le partage de systèmes d'information efficaces et la capitalisation d'expériences réussies permettent de prévenir des problèmes à venir.
- La nécessité pour les acteurs de disposer de compétences suffisantes pour élaborer des réponses nouvelles et pertinentes.

## **5. Proactivité et pilotage des activités**

Trois points essentiels, issus à la fois de l'acception générale du mot proactif et des nécessités liées au pilotage des activités nous permettent de définir les bases d'une architecture de pilotage réactif et proactif :

- Enrichir les modèles afin de posséder une meilleure connaissance sur le pilotage des activités.
- Pouvoir choisir un ensemble de règles de pilotage en fonction de l'état présent (réaction) ou à venir (anticipation).
- Etre capable de configurer et de réorganiser les ressources pour les adapter à la situation.

Ces différents éléments mettent en évidence une double nécessité dans l'élaboration de systèmes proactifs appliqués au pilotage d'entreprise :

- Une nécessité locale : ce point concerne la spécification d'un système de pilotage proactif et réactif des activités.
- Une nécessité globale : ce deuxième point concerne les choix organisationnels à mettre en place afin de favoriser et de développer ce principe. Nous verrons aux chapitres 4 et 5 comment intégrer les aspects organisationnels dans la modélisation.

Nous allons préciser dans les paragraphes suivants notre conception d'une architecture locale de pilotage réactif et proactif.

## 5.1 Enrichissement des modèles

Le premier point concerne l'enrichissement des modèles et consiste à augmenter le degré de flexibilité opérationnelle par un élargissement de l'ensemble  $Q_o$  des possibilités offertes par le pilotage (figure 2.3).

Il permet ainsi une augmentation de la réactivité par extension des possibilités d'interprétation du pilotage. Ceci permet à tout instant "t" de disposer d'un ensemble étendu de connaissances, de règles, de procédures, permettant de répondre plus efficacement à des variations, différentes ou plus importantes de l'environnement, ceci sans augmentation des ressources mises en jeu.

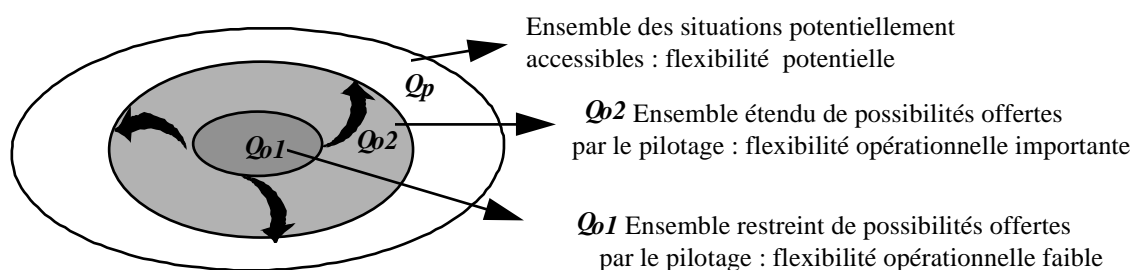


figure 2.3. Augmentation de la réactivité par extension de l'ensemble des possibilités

## 5.2 Choix des règles

Nous avons vu que dans une situation idéalement stable où le système ne connaîtrait ni perturbation, ni évolution, la commande de l'activité pourrait être entièrement programmée ou résulter de l'application de règles reconnues comme les plus efficaces, voire optimales (paradigme du contrôle).

La réactivité dans le pilotage repose sur l'existence d'alternatives : l'activité ou son environnement étant soumis à des perturbations ou des aléas, le pilotage ne peut pas appliquer une stratégie de commande unique et identique au court du temps sans dégradation des performances. De multiples variations imposent des modifications du pilotage afin de conserver, ou d'améliorer le niveau de performance.

Les méthodes de pilotage proactif doivent favoriser la recherche de solutions nouvelles, l'innovation, afin de répondre à des sollicitations inconnues (amélioration des connaissances

sur le modèle). Elles doivent aussi permettre la modification des règles de pilotage en fonction des objectifs poursuivis et de la détection de conditions de dégradation. La finalité n'est pas ici d'adapter le pilotage pour gérer un aléa, mais de modifier le jeu de règles utilisé par le niveau réactif, afin de prévenir l'apparition d'un aléa. On force ainsi le fonctionnement du niveau réactif dans un état particulier (un sous ensemble de règles). Pour cela il est nécessaire de partitionner l'ensemble des possibilités offertes par pilotage réactif afin de contraindre la réactivité dans un espace réduit (figure 2.4).

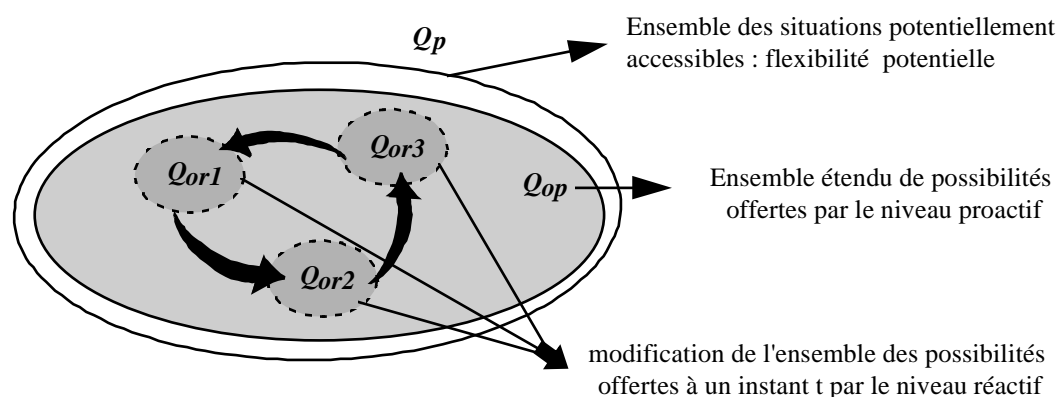


figure 2.4. Modification du niveau réactif par adaptation du jeu de règles

### 5.3 Organisation des ressources

Les ressources utilisées dans la réalisation d'une activité peuvent être dédiées ou partagées. Les deux paragraphes précédents ont présenté une adaptation du pilotage à ressources constantes, c'est-à-dire à l'intérieur d'un ensemble  $Q_p$  fini et fixe. Une troisième possibilité de variation des possibilités de pilotage est réalisée par une variation de l'ensemble  $Q_p$  des situations potentiellement accessibles. Cette variation représente une adaptation des ressources mises en oeuvre dans la réalisation de l'activité. Au niveau global de plusieurs activités, elle se traduit par une réorganisation des ressources affectées à chacune des activités ou par une adaptation de l'affectation des ressources partagées (figure 2.5).

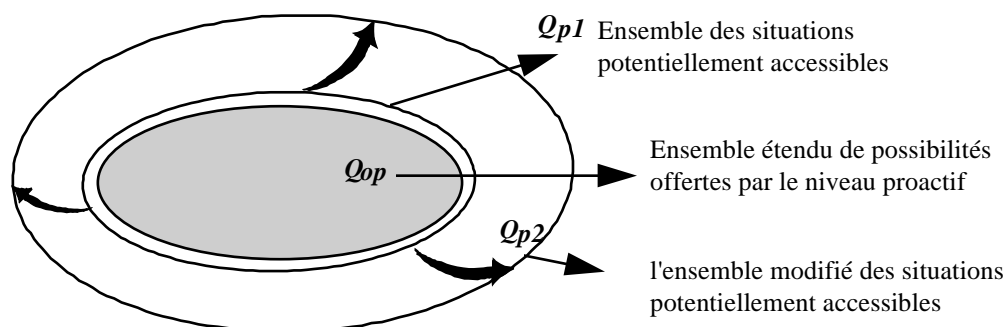


figure 2.5. Modification des possibilités par réorganisation des ressources

## 6. Modèle synthétique d'une architecture de pilotage réactif et proactif

Le niveau proactif agit ainsi par modification intentionnée du niveau réactif afin :

- De **prévenir** les aléas susceptibles d'apparaître à un instant " $t+dt$ " par une modification des règles de fonctionnement à l'instant " $t$ ". Ceci impose une modification des choix que pourrait faire en temps réel le niveau réactif dans une vision court terme, et donc une restriction des possibilités du niveau réactif en fonction des situations. Dans ces conditions, le modèle global regroupant l'ensemble étendu des possibilités offertes n'est connu que du niveau de gestion proactif, ce dernier fournissant un cadre plus restreint de possibilités au niveau réactif (figure 2.6).
- D'élargir l'espace des possibilités (figure 2.3) par un **enrichissement permanent** (apprentissage et capitalisation) du modèle du système piloté. Ce dernier intègre d'une part un modèle interne du procédé piloté (ressources, flux, etc.) et d'autre part le système d'information supportant la prise de décision (contexte, informations externes, etc.).

Il agit aussi sur les ressources afin de les organiser ou de les réorganiser de manière à les adapter aux évolutions des besoins des activités. Cette fonction, encore plus que les autres impose :

- Compétence : afin de disposer du pouvoir et du savoir nécessaire à la réorganisation des ressources.

- Cohérence : afin de réaliser cette réorganisation dans le cadre d'une vision globale de l'entreprise, c'est-à-dire en accord (coordination) avec les autres activités qui pourraient prétendre à l'utilisation des mêmes ressources.

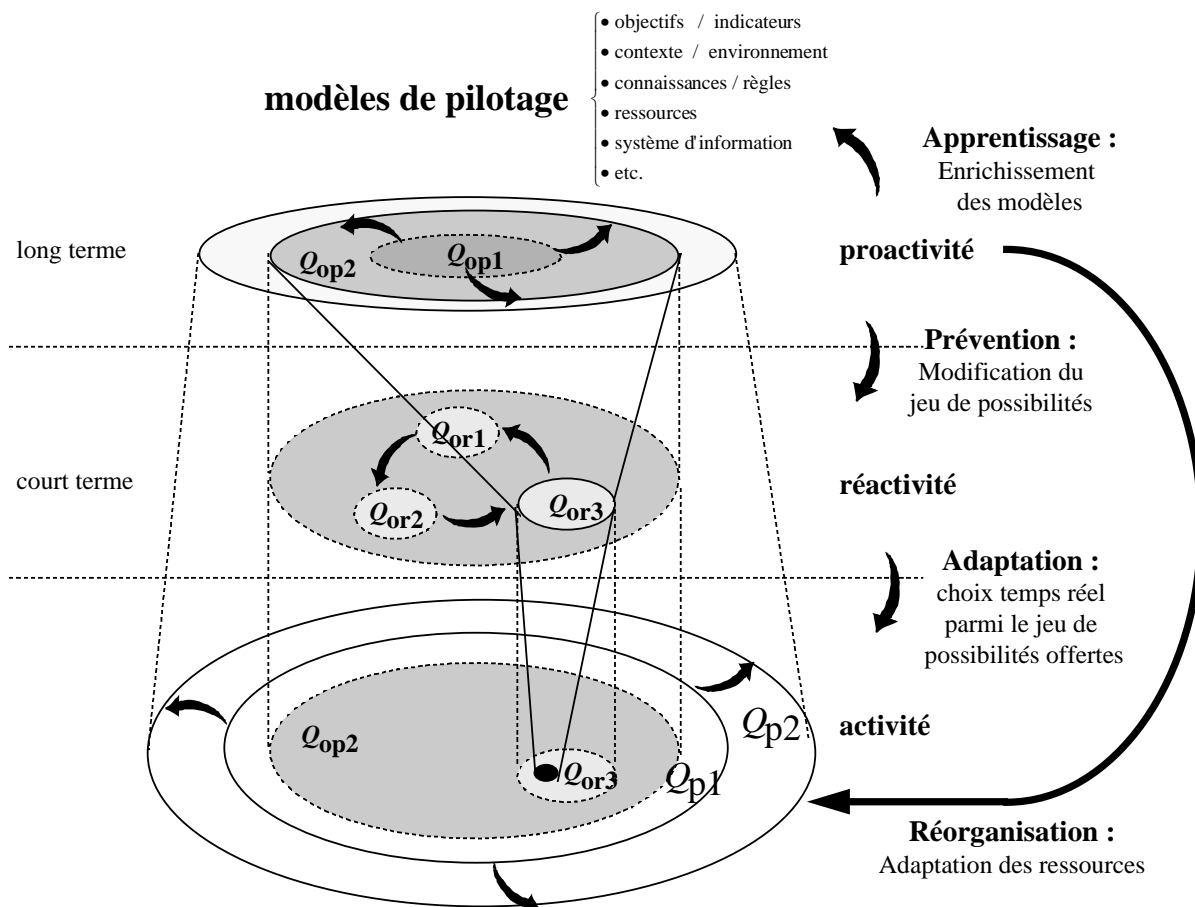


figure 2.6. Modèle synthétique de l'architecture de pilotage d'une activité

## 7. Conclusion

Nous avons montré dans ce chapitre la nécessité pour les entreprises de disposer d'une certaine flexibilité pour permettre la définition et la mise en oeuvre d'une architecture de pilotage réactif et proactif des activités.

Nous avons proposé une architecture de pilotage permettant d'identifier et d'explicitier clairement les notions de réactivité et de proactivité. Cette architecture est générique et peut s'appliquer à toute démarche d'amélioration des performances industrielles. Pour notre part, nous insisterons plus particulièrement dans la suite, sur ses apports dans la gestion des aléas.

Nous avons montré que cette architecture reposait sur trois points essentiels qui sont :

- l'amélioration des modèles de pilotage (enrichissement connaissances),
- l'adaptation des règles de pilotage, soit d'un point de vue réactif (réaction), soit d'un point de vue proactif (anticipation),
- la réorganisation des ressources qui positionne l'activité dans un tout organisé.

Il est maintenant nécessaire de replacer cette architecture au coeur de notre problématique : la gestion des aléas pour le maintien et l'amélioration des performances industrielles.

C'est ce que nous nous proposons de faire dans le chapitre 3, en développant une perception originale de l'aléa, liée au pilotage des activités.





## **Chapitre 3 :**

### **gestion des aléas et pilotage de la performance**



## 1. Introduction

Nous avons décrit dans le chapitre précédent comment le concept de proactivité est rattaché à la gestion des perturbations et des aléas. L'aléa s'entend ici dans une approche multivues du système de production et constitue dans notre approche le pivot de la proactivité. Afin de développer une approche méthodologique du pilotage proactif et de la gestion des aléas, nous donnerons une définition générique de l'aléa, en nous appuyant sur les travaux menés en gestion du risque et Sûreté de Fonctionnement (SdF).

Nous développerons ensuite les notions d'objectif et d'indicateur de performance comme supports d'information pour la détection des situations à risque et donc pour l'anticipation.

Enfin, nous établirons sur ces bases le principe d'une boucle de pilotage réactif et proactif centrée sur l'aléa.

## 2. Performance industrielle et gestion des aléas

Les nombreuses sollicitations auxquelles sont soumises les organisations productives leur imposent, pour conserver ou améliorer leurs performances industrielles, de mieux savoir gérer les aléas. La complexité de ces organisations, la diversité des acteurs qui les composent et les vues différentes qui en découlent nous ont conduit à développer une approche originale de l'aléa. Si certains auteurs ont fait des propositions de classification des aléas (essentiellement au niveau opérationnel), il n'existe à notre connaissance, aucune proposition d'approche générique, c'est-à-dire permettant une même représentation de l'aléa, avec des vues différentes.

En nous appuyant sur les travaux menés dans le domaine de la Sûreté de Fonctionnement nous développerons dans ce paragraphe une représentation méthodologique générique des aléas.

### 2.1 Sûreté de Fonctionnement

La Sûreté de Fonctionnement peut être définie au sens large comme la science des défaillances, incluant leur connaissance (détection), leur prévision (pronostic), leur mesure (quantification) et leur maîtrise (supervision et réaction). Dans une acception plus stricte, c'est

l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données [Villemeur, 88]. Un système qui a un fonctionnement "sûr" est un système qui réalise ce pourquoi il a été conçu, sans incident remettant sa rentabilité en question et sans accident mettant la sécurité en jeu [Leroy et Signoret, 92]. Le fonctionnement sûr devient ainsi l'objectif à atteindre et son obtention passe par l'intégration de procédures (prédéfinies ou évolutives) en vue d'une compensation.

La défaillance est la conséquence d'un ensemble de relations de cause à effet. Elle est observée lorsque le service délivré dévie du service spécifié [Zaytoon, 93]. La défaillance est alors définie comme la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise (le service pour lequel elle a été conçue), ou par extension, l'altération de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. Une classification des défaillances peut être établie selon deux critères :

- le temps : les défaillances peuvent être progressives ou soudaines,
- l'amplitude : elles peuvent être partielles ou complètes.

Dans une vision Sûreté de Fonctionnement du comportement opérationnel d'un système, deux états de service sont différenciés [Laprie, 89], la défaillance conduisant d'un état de service approprié à un état de service impropre (ou inapproprié) (figure 3.1).

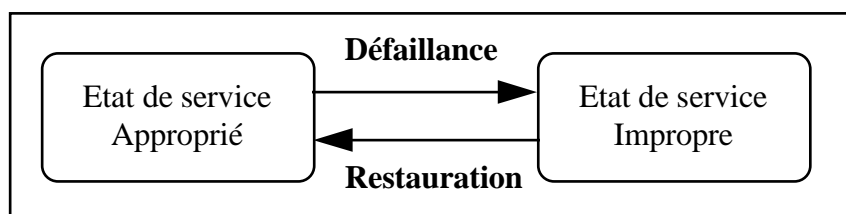


figure 3.1. Etats de service d'un point de vue SdF

Le concept de Sûreté de Fonctionnement a en particulier pour objectif de prévenir les risques de dysfonctionnement d'un système, ou d'en réduire la probabilité d'occurrence, ou d'en réduire les conséquences [Leroy et Signoret, 92][Bergot et Grudzien, 95].

## 2.2 Aléas : définition

Nous avons décrit précédemment comment les principes de pilotage réactif des activités, sur lesquels s'appuient désormais de nombreux systèmes de production, ont permis d'absorber une

part importante des sollicitations qui s'exercent sur ces derniers. Ils constituent un complément indispensable des méthodes de planification dans lesquelles un plan défini doit être suivi, et s'appuient principalement sur une gestion des événements. Ceci nous a conduit à préciser, dans ce contexte, ce que représente un aléa et en quoi il se distingue d'un événement qui, par opposition, serait qualifié de "normal".

Le terme, aléa, que l'on rencontre souvent à coté de mots tels que "perturbation", "dysfonctionnement", "événement inattendu" est défini dans le Larousse par :

*aléa : événement imprévisible, tour imprévisible que peuvent prendre les événements. Tour imprévisible le plus souvent défavorable pris par les événements et lié à une activité, une action. Risque.*

Cette définition montre bien la proximité existant entre les deux termes aléa et événement, et ne lève l'ambiguïté que sur le seul point du caractère imprévisible. Cette caractéristique dépend cependant fortement du contexte dans lequel on se place.

Une panne intervenant sur un équipement du système de production est généralement considérée comme un aléa. S'il est vrai que dans un contexte déterministe, cet événement peut être caractérisé d'événement imprévisible, cela n'est plus tout à fait exact dans une modélisation stochastique. Dans ce cas, cet événement est modélisé de manière statistique, par une loi de probabilité et perd son attribut "imprévisible" : il est prévisible, même si l'on ne connaît pas le moment exact de son apparition.

La seconde partie de la définition s'intéresse au tour défavorable pris par un événement. Ceci rejoint le souci déjà évoqué du traitement particulier que l'on doit réserver à un aléa par rapport au traitement d'un événement classique (a priori "non défavorable") et permet d'insister sur la nécessité de bien différencier ces deux types de sollicitation du système de production :

- Les événements prévus, dont l'occurrence répertoriée n'entraîne pas de remise en cause des objectifs assignés et pour lesquels la réponse est généralement connue.
- Les aléas, qui constituent une menace pour l'atteinte des objectifs. Leur prise en charge nécessite l'élaboration de nouvelles stratégies, soit pour en prévenir les effets

(anticipation), soit pour retrouver le fonctionnement nominal (restauration), soit enfin pour réviser les objectifs (dégradation).

### 2.3 Aléas : vers une représentation méthodologique

La remarque précédente contient implicitement une partie de la réponse au problème de la formalisation des aléas : gérer les aléas signifie maintenir le système de production dans un état de fonctionnement conforme aux objectifs fixés. Nous nous attachons ici au principe de satisfaction énoncé dans le premier chapitre, et renonçons, dans le cadre d'une approche globale et multivues de l'entreprise, à l'idée d'optimisation. En d'autres termes, nous voulons exprimer que [Neubert et Campagne, 96a] :

*sans aléa, le système de production est dans un état de fonctionnement satisfaisant (conforme aux objectifs fixés), que nous appellerons : "état de service approprié"*

*après un aléa, le système de production passe dans un état de fonctionnement non satisfaisant par rapport aux objectifs fixés, que nous appellerons : "état de service impropre" (figure 3.2)*

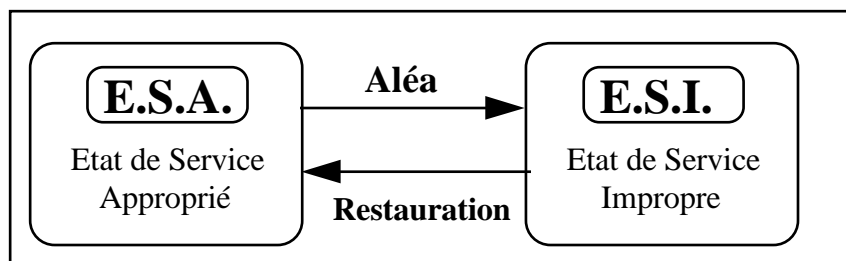


figure 3.2. Aléa : une approche orientée Sûreté de Fonctionnement

Par analogie avec les travaux effectués en Sûreté de Fonctionnement, nous donnerons de l'aléa la définition suivante :

**définition** : *l'aléa correspond à la rupture du fonctionnement nominal d'un système. Il fait passer le système observé d'un état de service approprié à un état de service impropre.*

Gérer les aléas consistera donc à maintenir chaque activité de l'entreprise dans un état de service approprié caractérisé par son fonctionnement nominal. Le fonctionnement nominal, relatif aux objectifs fixés dans le cadre organisationnel sera alors suivi à travers un système

d'indicateurs, significatifs de l'évolution de l'état du système, et qui caractériseront les états de service à mettre sous contrôle.

Nous ne ferons dans ce chapitre aucune proposition sur la manière de fixer les objectifs, ou de décliner un objectif global en sous-objectifs. Ce point, très ardu à notre sens, relève d'une autre problématique qui n'a pas été abordée dans le cadre de ces travaux. Nous allons cependant exposer un état de l'art des travaux existant dans ce domaine afin de montrer la pertinence de notre approche.

### **3. Pilotage et évaluation de la performance industrielle**

Les nouvelles perceptions de la valeur des produits ont conduit à une modification de la notion de performance industrielle. La réduction des coûts ne constitue plus la seule finalité et devient l'un des résultats de démarches amonts, de tension des flux, d'amélioration de la qualité, de raccourcissement des délais, d'intégration des activités, etc., engagées dans un cadre plus global et multivues de la performance industrielle.

Comme le précise la commission "Indicateurs de Performance" de l'AFGI [AFGI, 92] "(...) *les nouveaux enjeux industriels, de réactivité, de flexibilité, d'adaptabilité, de qualité, ... et où les nouvelles organisations qui en résultent basées sur les notions d'intégration, de flux, de synchronisation, .... posent clairement le problème de l'évaluation globale des performances (...)*"

Cette nécessité d'adapter les méthodes d'évaluation des performances est soulignée par de nombreux auteurs [Heran, 90] [AFGI, 92] [Bonnetoux, 94] [Jacot et Micaelli, 96] [Mévellec, 96b]. F. Heran, par exemple, précise à ce sujet : " (...)  *dans le mode d'organisation classique mis en place au début du siècle sous l'impulsion des travaux de F.W. Taylor (1911) et d'Henri Fayol (1916), l'évaluation et le contrôle de performances des entreprises industrielles étaient relativement simple. Le cloisonnement et la hiérarchisation des activités facilitaient la mise en place de systèmes d'analyse des coûts, comptabilité analytique et contrôle de gestion". Dans le mode d'organisation beaucoup plus intégré qui se met progressivement en place depuis une dizaine d'années, les outils de gestion traditionnels se révèlent de plus en plus inadaptés, car les variables deviennent inextricablement liées, les évolutions rapides et les changements fréquents (complexité et instabilité)*" [Heran, 90].

Il y a nécessité d'adapter les critères d'évaluation des performances des systèmes de production au contexte technique, organisationnel et marchand [Jacot et Micaelli, 96] [Mévellec, 96b]. L'introduction de nouvelles évaluations de la valeur d'un produit, telles que par exemple le délai de mise à disposition ou la qualité, ont conduit à la mise en place d'indicateurs de performance physiques ; la gamme de critères de performance s'est ainsi enrichie de critères tels que la qualité, la fiabilité, la fluidité, la réactivité, la simplicité, la sécurité : les futurs systèmes de production devant atteindre les "zéros olympiques" de la production, à savoir le "zéro défaut", "zéro panne", "zéro stock", "zéro retard", "zéro accident" [Jacot, 90]. Ceci introduit une dualité dans l'évaluation des performances, soulignée par P. Mévellec, avec l'introduction d'indicateurs physiques qui n'ont pas forcément d'équivalents dans le système comptable (figure 3.3).

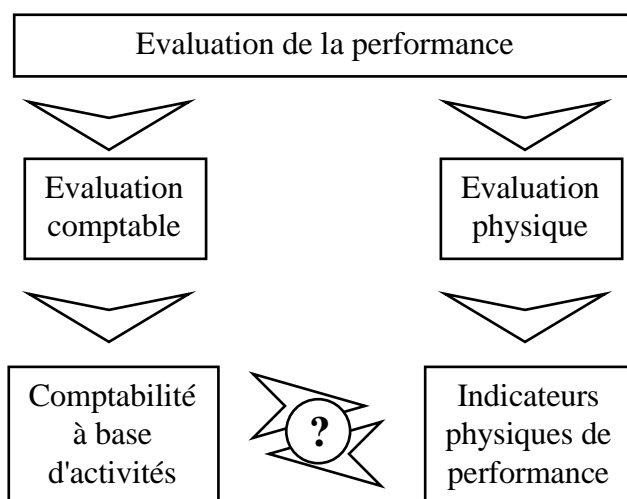


figure 3.3. Evaluation de la performance : un système dual [Mévellec, 96b]

### 3.1 Évaluation des performances

Le modèle taylorien repose sur la vision cybernétique du contrôle - mesure du résultat et comparaison par rapport à une norme préétablie - contingente à un univers stable (voir le chapitre 1 : performance productive = minimisation des coûts, mécanismes de performance stables, coût global = coût d'une ressource dominante, la main d'oeuvre). Le changement de contexte de production impose une vision dynamique du processus d'évaluation des performances, orientée par les objectifs à atteindre et traduisant les améliorations à venir. Comme le précise Jean Meilhan dans [Meilhan, 95], un tableau de bord est conçu comme un



outil d'amélioration des performances et traduit une ambition. Les indicateurs correspondent à des objectifs concrets et atteignables.

Afin de clarifier le champs de l'évaluation de la performance, nous allons préciser quelques notions. Les objectifs désignent les buts mesurables assignés à un système, à ses processus ou activités. Aux objectifs sont associés des indicateurs qui une fois regroupés constituent un tableau de bord. Enfin, les critères de performance désignent les données utilisées pour juger si un système a atteint les objectifs assignés ou non.

Les objectifs, les indicateurs et les critères de performance interviennent le long d'une boucle d'évaluation par laquelle les objectifs sont définis, assignés puis, selon la performance effective atteinte, redéfinis (figure 3.4) [ORGALEA, 96].

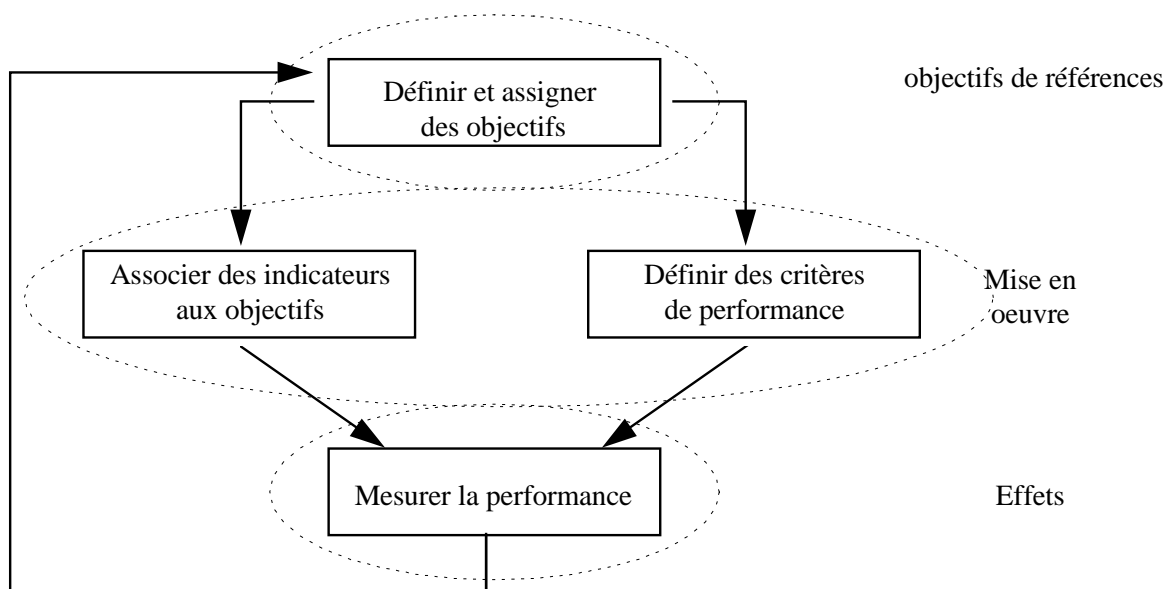


figure 3.4. Evaluation de la performance

La mesure n'est ainsi qu'une étape dans la boucle permanente de l'évaluation, ce que J.H. Jacot, adaptant une idée de Tyler précise en notant la différence entre la mesure (résultat statique et intrinsèque) et l'évaluation (notion de préférence, de référence et de causalité) conçue comme un processus inscrit dans le temps : "(...) les objectifs de référence permettent de caractériser les changements attendus dans les phénomènes considérés à évaluer. La mesure conserve un rôle important, mais s'en tient aux effets. L'évaluation est de portée plus générale : on tente de remonter aux causes et on se prononce donc généralement sur les objectifs et leur mise en oeuvre" [Jacot, 90].

P. Burlat précise ainsi que les trois étapes décrites par Tyler (objectifs de référence, mise en oeuvre, effets) interagissent les unes avec les autres dans une démarche d'amélioration continue, qui s'accompagne d'une remise en cause perpétuelle des objectifs en fonction des résultats obtenus et en fonction des moyens d'action mis en oeuvre lors de chaque déroulement du processus itératif. Il inscrit ce processus d'évaluation dans une logique de rationalité procédurale<sup>15</sup> supportée par un contexte d'information incomplète dans lequel chaque étape itérative d'évaluation ne peut mener qu'à une solution temporairement satisfaisante et non définitivement optimale [Burlat, 96].

### 3.2 Objectifs

Un système de production est un système complexe<sup>16</sup>, aux objectifs variés. Pour réduire cette variété et représenter les objectifs en termes de classes et non d'individus, il faut en dresser une typologie. Deux typologies paraissent pertinentes. Le critère discriminant de la première repose sur le niveau hiérarchique de décision auquel est associé l'objectif. Le critère discriminant de la seconde repose sur la nature de la relation du système avec son environnement [ORGALEA, 96].

La première typologie s'appuie sur la classification par niveau proposée par R.N. Anthony [Anthony et Dearden, 76] et détaillée par H. Ansoff [Ansoff, 89]. Elle s'inspire de la structuration hiérarchique des entreprises et décompose les décisions selon des niveaux temporels décroissants. Elle distingue :

---

<sup>15</sup>Deux visions de rationalité en finalité opposent les écoles de pensée [Jacot et Micaelli, 96] : la rationalité substantive et la rationalité procédurale. La première suppose l'omniscience du décideur qui le conduit à choisir parmi les alternatives présentes ou anticipées en fonction de préférences définies a priori. La deuxième, faisant suite aux travaux de H.A. Simon, réfute cette idée de l'omniscience du manager et stipule qu'il doit constamment adapter ses décisions à son environnement en engageant des procédures de définition puis de résolution de problème en suivant non pas un principe d'optimisation, mais un principe de satisfaction.

<sup>16</sup>La complexité du système de production a été mise en évidence par de nombreux auteurs. Elle est liée d'une part à la multiplicité des vues que la représentation et la modélisation de l'entité concernée requiert et d'autre part à l'incertitude qui existe quant à son devenir (voir par exemple les différentes approches sociologiques des organisations ou [Le Moigne, 90]).

- Les objectifs stratégiques : ils sont relatifs au devenir du système de production (le niveau stratégique finalise le système de production).
- Les objectifs tactiques : ils sont relatifs à l'organisation des ressources du système de production.
- Les objectifs opérationnels : ils sont relatifs à l'allocation de ses ressources et au comportement du système de production face aux événements.

Plus une décision est stratégique, plus elle pourra couvrir un horizon large et, surtout, avoir une incidence importante sur le patrimoine de la société (figure 3.5).

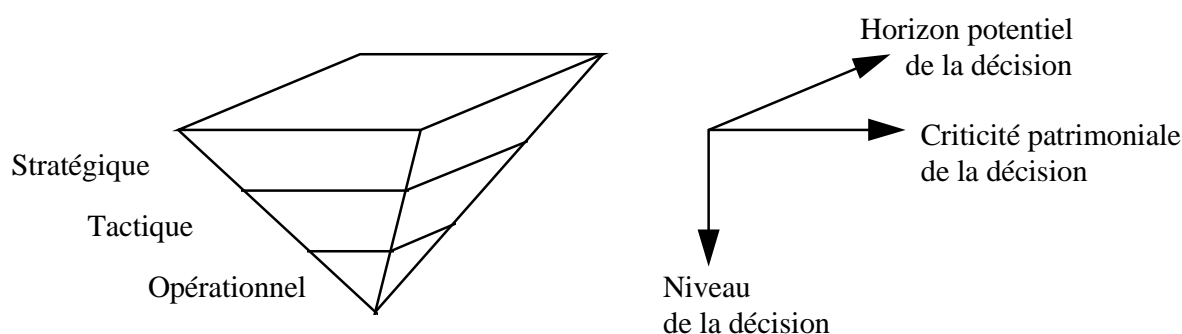


figure 3.5. Typologie des objectifs relative à la décision

La deuxième typologie des objectifs distingue (figure 3.6) :

- Les objectifs de capacité, relatifs aux entrées du système de production : ressources, événements, performances prévues.
- Les objectifs de résultat, relatifs à ses sorties : produits, messages émis, performances réalisées.
- Les objectifs d'efficacité, relatifs à l'utilisation des moyens pour obtenir un résultat donné (relation entre ses sorties et ses entrées).
- Les objectifs d'efficience, relatifs à la pertinence de la structure ou du comportement du système par rapport à un environnement stable (la demande d'un client connu, les normes techniques existantes, etc.) ou dynamique (l'environnement technologique, les compétences, etc.). L'efficience élargit l'analyse en portant appréciation sur le couple moyens/résultats, sans pour autant remettre en cause les objectifs proprement dits [Jacot, 90].

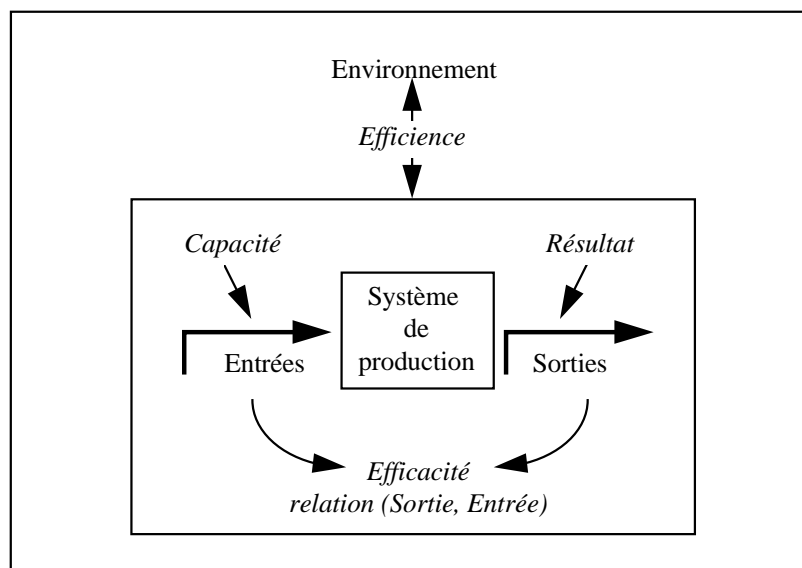


figure 3.6. L'enchâssement des objectifs relatifs aux ressources

J.H. Jacot ajoute une dimension supplémentaire à l'évaluation en parlant d'effectivité, notion qui remonte aux finalités même du système, mettant en relation objectifs/moyens/résultats : fait-on effectivement ce que l'on veut faire?

### 3.3 Indicateurs de performance

#### 3.3.1 Définition

Les indicateurs de performance sont associés aux objectifs et interviennent dans le processus d'évaluation. P.M. Gallois, animateur de la commission Indicateurs de Performance (IP) à l'AFGI en donne la définition suivante [Gallois, 90][AFGI, 92] :

*"Donnée quantifiée qui mesure l'efficacité de tout ou partie d'un processus ou d'un système (réel ou simulé) par rapport à une norme, un plan, ou un objectif déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise."*

Cette définition insiste sur un certain nombre de points :

- l'IP est une donnée quantifiée. Ce terme prête à des interprétations diverses. Pour C. Bonnefous par exemple [Bonnefous, 94] une donnée quantifiée est exprimé en quantité et non en valeur (financière), alors que H. Mintzberg écrit [Mintzberg, 90] "les

*critères de performances (quantitatifs, ce qui signifie typiquement financiers)<sup>17</sup>, (...)*".

Un IP peut ainsi exprimer une grandeur physique (une quantité, une vitesse, etc.) ou une grandeur financière conforme à la dualité de l'évaluation présentée précédemment. P.M. Gallois souligne cela en écrivant que la performance ne se mesure pas seulement en unités monétaires [Gallois, 90].

- L'IP mesure l'efficacité d'un système. Cette définition place l'utilisation des indicateurs de performance dans le cadre de l'exploitation d'un système existant avec, comme nous l'avons montré précédemment, la mesure d'une relation entre entrées et sorties du système. Cette définition s'intéresse à l'utilisation des moyens mis en oeuvre dans la poursuite de l'objectif mais ne remonte pas jusqu'à leur l'évaluation (mesure de l'efficacité). Elle marginalise dans le pilotage les aspects liés à la conception du système lui-même ou à sa reconfiguration. Cet aspect est d'ailleurs souligné dans [Jacot et Micaelli, 96] : *"Malgré leur variété croissante, la plupart des indicateurs de performance utilisés en atelier visent à améliorer ce qu'en termes économiques on appelle la productivité, entendue comme rapport output/input (ou produit/ressources)."*
- L'IP peut concerner tout ou partie d'un processus ou d'un système. Ce point met l'accent sur l'existence d'indicateurs de différents niveaux (de précision, hiérarchique, de système distribués, etc.), sans toutefois préciser la distinction entre système et processus<sup>18</sup>. Il souligne cependant l'aspect distribué de la performance.
- L'IP est relatif à une norme, un plan, ou un objectif déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise. Il s'intègre ainsi dans la boucle d'évaluation présentée figure 3.4, comme la mesure d'un objectif défini. Il souligne aussi la nécessité que cet objectif ait été accepté ; sans que cela soit explicite, on peut supposer que la définition propose qu'il ait été accepté par celui (l'acteur, l'équipe, le centre de décision) qui

---

<sup>17</sup>P. Lorino note d'ailleurs la confusion faite par H. Mintzberg entre quantitatif et financier [Lorino, 95].

<sup>18</sup>J.L. Le Moigne définit un système comme quelque chose (une entité identifiable) qui fait quelque chose (activité, fonction), qui est doté d'une structure, qui évolue dans le temps et dans quelque chose (environnement), pour quelque chose (finalité) [Le Moigne, 84]. Un processus est un ensemble organisé, dans le temps et dans l'espace, d'opérations de transformation de la matière, de l'énergie et de l'information [Micaelli, 94] (par exemple un regroupement d'activité, combinées et agencées dans le temps).

l'utilisera. Ceci renvoie directement à l'utilisation de l'IP pour l'action, dans un cadre concerté.

Des travaux plus récents, menés dans le cadre du projet MOPIC (Modélisation des performances pour le pilotage à court terme d'un système de production), se sont focalisés sur la modélisation de la performance et la définition des indicateurs. Pour les membres de ce projet, les indicateurs de performance d'un système de production s'appuient sur des données quantitatives et qualitatives et contribuent à l'évaluation d'un résultat d'exécution d'activité [MOPIC, 97] [Berrah *et al*, 95]. Ils étendent ainsi la définition précédente qui ne retenait que des données quantifiées, en prenant en compte, à l'aide d'outils reposant sur la logique floue, des données qualitatives. Ils introduisent la notion d'activité (à laquelle est attachée un objectif élémentaire) associée à celle de processus (correspondant à un objectif global) et proposent que l'indicateur mesure un résultat (relatif à la sortie) plutôt que l'efficacité (relatif à l'utilisation des moyens) comme le propose l'AFGI.

L'introduction de la logique floue, et donc d'une vision qualitative de l'évaluation, les conduit à enrichir le modèle d'évaluation par une "facette observateur", relative à l'appréciation de la mesure par un observateur.

Retenons de ces différentes approches que les indicateurs de performance sont des artefacts, conçus par rapport à un objectif et s'intégrant dans une boucle d'évaluation. Ils permettent, en mesurant la performance réelle atteinte et en la comparant à une performance "idéale" souhaitée, d'évaluer (ce point peut être contextuel et dépendant de l'observateur) la performance de tout ou partie d'un processus (donc aussi d'une activité) ou d'un système par rapport à un objectif déterminé.

### 3.3.2 Typologies des indicateurs de performances

Il existe différentes typologies permettant une classification des Indicateurs de performance. Une première typologie des indicateurs de performance, reflétant la multiplicité des vues, concerne le domaine d'évaluation que représente l'indicateur, mesuré avec des unités d'oeuvre hétérogènes (monétaires, physiques, etc.). On distingue :

- Ceux caractérisant le comportement du système. Ils permettent de mesurer la qualité du comportement et peuvent être liés à la gestion des ressources, fiabilité, rentabilité,

productivité, etc., ou des flux, taux de rotation des stocks, degré de tension, niveau des en-cours, etc.

- Ceux caractérisant ses aspects structurels : qualité des ressources, flexibilité des moyens, qualité du système d'information, etc.
- Ceux caractérisant ses aspects économiques : à un certain niveau de consolidation, il est important de valoriser la performances mesurée par les indicateurs physiques.

Un autre critère de classification est relatif à la fréquence de mesure associée à l'indicateur :

- Mesure événementielle : elle se fait au moment de l'apparition du phénomène et correspond généralement à une variable d'état du système physique (par exemple l'indicateur permettant d'évaluer le bon fonctionnement d'un équipement sera alimenté de manière événementielle, lors de l'apparition d'une panne ou d'une remise en service).
- Mesure périodique : il existe alors un échantillonnage en rapport avec le temps de réponse du phénomène mesuré permettant une reconstitution correcte de l'information recherchée (au sens de Shannon). Exemple : taux de satisfaction client (enquête annuelle), évaluation du résultat (mesure mensuelle), niveau de production (hebdomadaire, journalière).

Une autre typologie conduit à un classement permettant de couvrir les aspects statique et dynamique des systèmes de production, en établissant une distinction entre les indicateurs de résultat et les indicateurs de processus :

- Les indicateurs de résultats expriment le résultat auquel on peut parvenir [Bonnet, 94], ils ne fournissent qu'un niveau de performance et, en cas de contre performance, ils n'indiquent ni l'origine des problèmes, ni les solutions à y apporter [Heran, 90]. P. Lorino ajoute [Lorino, 91], qu'un indicateur de résultat ne permet qu'un constat car il arrive trop tard pour l'action.

- Les indicateurs de processus (ou indicateurs de plans d'action) [AFGI, 92], aussi appelés, dans la méthode HOME<sup>19</sup>, indicateurs de suivis [Jacot *et al*, 1994], permettent d'exprimer la manière d'obtenir un résultat [Bonnetfous, 94]. Ils ont l'avantage de contribuer à indiquer les moyens d'améliorer les résultats [Heran, 90]. P. Lorino leur attribue une place privilégiée parmi les indicateurs de pilotage car ils indiquent les évolutions tendanciennes dans les processus et fournissent une capacité d'anticipation ou de réaction à temps [Lorino 91].

Les deux types d'indicateurs semblent nécessaires pour la mesure des performances industrielles. De plus la différence entre ces deux types d'indicateur est toute relative ; un indicateur de résultat issu par exemple de la mesure périodique d'un résultat atteint (mesure *a posteriori*), peut se transformer pour un niveau supérieur en indicateur de processus permettant de mesurer et de suivre l'évolution de ce résultat.

Chacune des typologies associée aux indicateurs de performance recouvre le champ de celles associées aux objectifs pour former une représentation matricielle de l'emboîtement des typologies (figure 3.7).

Typologie des objectifs			
Typologie des indicateurs	relative à la décision	relative au ressources	
relative au domaine d'évaluation			
relative à la fréquence de mesure			
relative au caractère statique ou dynamique			

figure 3.7. Représentation matricielle des typologies objectifs/indicateurs

<sup>19</sup>L'objectif de la méthode H.O.M.E. (Homme-Organisation-Matériels-Externe) est d'aider l'entreprise, en fonction de son activité, de ses contraintes, de ses problèmes, à mettre en évidence ses points faibles en les situant dans sa structure et à définir les action correctives appropriées, assorties de leurs indicateurs de suivi respectifs.



### 3.4 Indicateurs et pilotage

#### 3.4.1 Le triangle d'or du pilotage

L'indicateur de performance (IP) mesure l'aptitude d'un système à générer une performance :

- Ce n'est pas seulement une mesure, c'est l'association d'une mesure d'efficacité, d'un objectif et de variables d'action<sup>20</sup> [Gallois, 90] [Bonnetfous, 94]. Un indicateur de performance est un objet finalisé, un outil orienté vers l'action. Il doit exister une relation explicite entre indicateurs et variables de décision (Certains auteurs parlent ici de principe de contrôlabilité [Giard et Fray, 90] [Bitton et Doumeingts, 90]).
- P. Lorino parle lui d'inducteurs de performance qui identifient les causes principales des performances des activités critiques : *" les indicateurs sont fondés sur les inducteurs. Fixer des indicateurs qui ne correspondent pas à des facteurs de performance réellement critiques, c'est disperser les efforts et semer la confusion"* [Lorino, 91].

Les indicateurs doivent donc être associés aux facteurs clés de succès de l'entreprise. A chaque indicateur sont associées des variables d'action, c'est-à-dire des leviers qui permettent de faire évoluer l'indicateur créant ainsi ce que P. Lorino appelle le triangle d'or du pilotage.

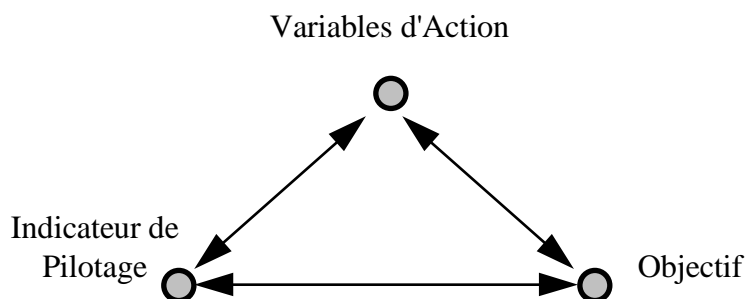


figure 3.8. Le triangle d'or du pilotage [Lorino, 91]

Cependant, les indicateurs ne contiennent pas de manière intrinsèque les orientations à donner au pilotage. Ils ne constituent que les prémisses de l'aide à la décision, l'information à partir de laquelle sera construit le raisonnement.

---

<sup>20</sup>Une variable d'action est définie dans [AFGI, 92] comme un facteur ou un ensemble de facteurs sur lequel agir afin de faire évoluer tout ou partie d'un processus ou d'un système.

### 3.4.2 Les indicateurs comme représentations anticipatrices

La réactivité d'un système repose sur sa capacité à savoir adapter le pilotage dans un cadre généralement planifié en répondant en temps utile aux événements. L'évaluation de l'efficacité de la réactivité pose cependant un certain nombre de problèmes, dont celui de la pertinence de l'adaptation et de sa fréquence. S'il n'y a généralement pas antinomie entre planification et réactivité, la question reste posée de savoir à quel rythme les adaptations de plans permettent une amélioration, ou un maintien des performances.

P. Baranger et J. Chen notent que les événements viennent modifier l'environnement des firmes à un rythme de plus en plus rapide et ajoutent que les temps de réponses des systèmes de gestion doivent être de plus en plus courts pour intégrer cette vitesse de changement et garantir la pérennité des entreprises [Baranger et Chen, 94].

D'autre part, nous pensons que le pilotage doit apporter un certain lissage de ces modifications sous peine d'accroître l'instabilité du système. Il est nécessaire aujourd'hui, de ne pas tomber dans l'ultra-réactivité au risque de procéder en permanence à des changements de consigne du niveau opérationnel (voir par exemple les stratégies de lissage dans les méthodes MRP dans [Blackburn *et al.*, 1986]), changements qui risquent, notamment en raison d'un trop grand décalage temporel réaction-réponse, de rendre caduques les efforts consentis, voire d'accentuer le problème.

Les responsables industriels doivent donc posséder une vision globale, à long terme de leur processus de production, en comprendre la dynamique et celle de leur environnement. Ceci se traduit par la nécessité de restructurer l'information, d'élaborer de nouveaux modèles qui permettent à partir des informations disponibles et des connaissances que l'on a sur le fonctionnement du système étudié, de prédire son évolution et de mettre en oeuvre des processus de décision précoces qui garantiront, le moment venu, la performance de l'entreprise.

En ce sens, nous pensons que les indicateurs de performance, qui expriment le comportement du système dans le temps, constituent des représentations privilégiées pour la prise de décision par anticipation. L'étude de leur évolution permet à la fois de connaître l'état actuel du système, mais aussi de prédire, dans une certaine mesure, les situations futures. Cette idée qui peut s'apparenter à celle utilisée en gestion de la qualité avec l'emploi de la méthode SPC

a toutefois de nombreuses limites et ne peut pas être affirmée de manière générique. L'interprétation des tendances relevées sur l'évolution des objectifs assignés est ici beaucoup plus délicate et renforce le discours sur la nécessité d'une évolution du paradigme du contrôle à celui du pilotage :

- D'une part, le système de production ne peut pas être réduit à un simple système mécanico-électrique dont la connaissance des phénomènes d'usure ou de vieillissement permettrait d'identifier les dérives.
- D'autre part, les entreprises sont des systèmes complexes et les nombreuses interactions mises en jeu ne facilitent pas la mise en évidence de l'origine des problèmes : une dérive peut se manifester par des variations, non significatives *a priori*, de plusieurs indicateurs, ce qui rend l'analyse délicate et impose de posséder plusieurs points de vue. Comme le soulignent J.M. Hoc et J. Rogalsky, plus s'accroît la complexité des systèmes, plus se multiplient les interactions cachées qui peuvent transformer une petite dérive en catastrophe [Hoc et Rogalsky, 92].

La structure du système d'indicateur doit permettre de remonter le plus près possible de la cause initiale du problème. En effet, un aléa traduit un changement d'état et n'a d'existence, suivant la définition adoptée, que parce que les objectifs assignés à un certain niveau ne sont plus respectés. Hors, l'observation de la dérive d'un indicateur ne représente parfois que l'effet d'une cause associée (figure 3.9).

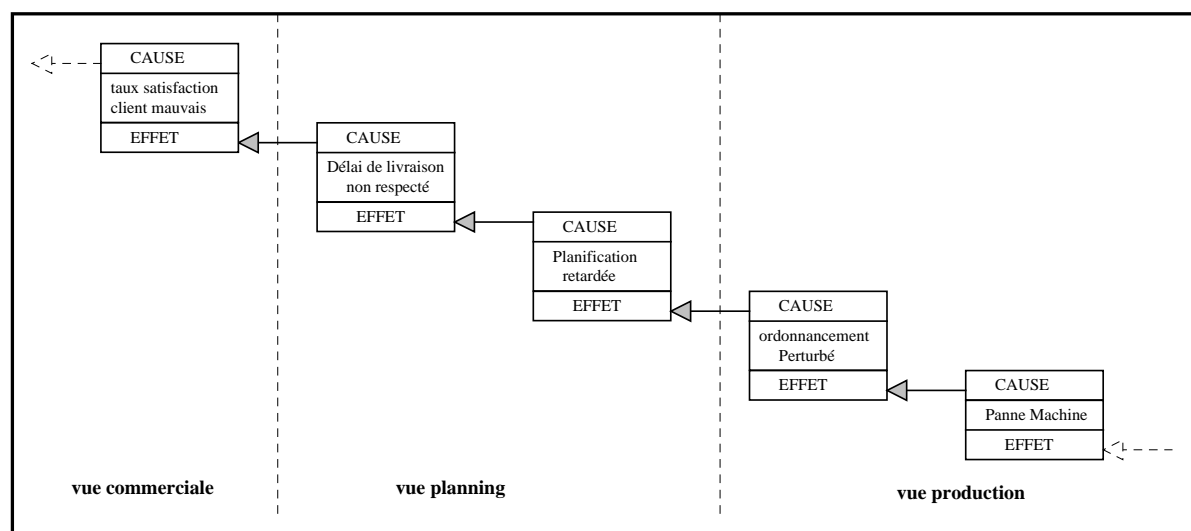


figure 3.9. Exemple d'analyse causale des aléas suivant la déclinaison des objectifs

Cette cause peut être propre au niveau lui-même ou l'effet peut relever d'une cause d'un autre niveau, dans un enchaînement cause/effet, comme le souligne P. Baillet dans [Baillet, 94].

Dans un cas simple, où le problème ne résulte pas d'interactions cachées, l'apparition d'une dérive à un niveau décisionnel permet, en parcourant l'arbre des sous-objectifs correspondant, de remonter le plus près possible dans la perception de la cause du problème.

La nécessité de rapidité de réaction impose d'agir le plus près possible de l'origine du problème, afin de traiter les causes et non pas les effets, ceci en utilisant les variables d'action déterminantes, c'est-à-dire celles présentant un fort couplage avec l'objectif considéré (relation effort/réponse) et un temps de réponse approprié. Ces variables d'action pourront être déterminées par des méthodes d'analyse cause/effet dans une démarche croisée, déductive (influence d'une variable d'action sur les différents objectifs), ou inductive (recherche des différents leviers d'un indicateur).

### 3.5 Les difficultés de cohérence

#### 3.5.1 Indicateurs et référentiel

Une des grandes difficultés réside dans la définition d'une norme pour l'indicateur considéré. Si l'indicateur permet la mesure d'un objectif, l'évaluation passe par la définition d'un référentiel qui permettra de porter un jugement sur cette mesure : quelle valeur souhaite-t-on atteindre *in fine* et quels écarts sont acceptables? Cette difficulté est encore augmentée par

l'instabilité et l'évolution rapide des systèmes évalués qui ne permettent pas toujours d'établir un référentiel stable.

### **3.5.2 Indicateurs et variables d'action**

L'interdépendance des sous-systèmes, ou des différentes activités, rend parfois difficile l'analyse des liens de causalité, et donc la mise en oeuvre de variables d'action pour influencer le pilotage des activités concernées. De plus, comme le soulignent V. Giard et C. Fray, cette recherche causale ne résout pas tout, car certaines actions possibles peuvent infléchir plusieurs indicateurs dans des sens qui ne sont pas tous favorables [Giard et Fray, 90].

D'autre part, une même décision peut avoir des effets immédiats et des effets différés qui divergent : la maintenance préventive par exemple diminue la disponibilité des équipements à court terme et l'augmente à moyen terme. Ceci crée différents points de vue qu'il sera nécessaire de confronter dans une stratégie cohérente d'entreprise. Si l'objectif est d'augmenter la disponibilité des équipements, les moyens d'action envisagés ne seront pas les mêmes suivant que l'on appartient à la maintenance (vision moyen terme) ou que l'on est directement lié à la production (vision court terme).

### **3.5.3 Indicateurs et systèmes d'indicateurs**

La remarque précédente met en évidence les fortes corrélations, ou les antinomies qui peuvent exister entre différents indicateurs locaux. Elle conduit à élaborer des systèmes d'indicateurs cohérents orientés vers la recherche de la performance industrielle.

Il est donc nécessaire de vérifier la cohérence de l'ensemble des indicateurs à tous les niveaux de l'entreprise. Cohérence verticale entre les différents niveaux, cohérence horizontale à l'intérieur d'un niveau [Giard et Fray, 90][Bitton et Doumeingts, 90][Lorino, 91][Bonnefous, 94]. Au problème de cohérence verticale des objectifs (les IP d'un niveau doivent être le reflet synthétique des indicateurs d'un niveau inférieur), s'ajoute en effet la nécessité d'une cohérence horizontale (non contradiction entre les indicateurs d'un même niveau) afin que les actions envisagées pour améliorer un objectif n'en dégradent pas un autre : un IP s'exprime dans le cadre d'une stratégie d'ensemble.

L'appréhension de ces problèmes de cohérence que l'on pourrait qualifier de topologiques, est rendu encore plus difficile par la multiplicité des points de vue que nous avons déjà soulignée.

C. Braesch et A. Haurat précisent à ce sujet : "(...) *il résulte la nécessité de créer des modèles partiels correspondants à différents points de vue. En effet, selon le problème ciblé, l'acteur considéré, la visibilité que l'on a sur les activités opérationnelles de l'entreprise et le sens qu'on leur attribue, varie. Mais il importe de maintenir la cohérence de ces modèles partiels et de permettre leur intégration dans un modèle plus global. Ce modèle global, obtenu une première fois à partir d'une analyse de l'existant va servir de référent pour étudier les éventuelles dérives de l'entreprise*" [Braesch et Haurat, 94].

Ces mises en gardent montrent les difficultés existant dans la définition des objectifs pour les différents sous-systèmes ou les différentes activités. Le principe parfois énoncé d'une déclinaison des objectifs stratégiques en objectifs tactiques puis opérationnels ne peut être qu'une vision simplifiée et dépourvue de généricité du problème. La déclinaison d'un objectif en sous-objectifs, dont les lois sont rarement connues, est contextuelle et propre à chaque entreprise. Comme le précise P. M. Gallois [Gallois, 90][AFGI, 92], "*A partir d'un objectif (ou d'un ensemble d'objectifs), d'un niveau donné, on va sur la base de l'expérience et de modèles empiriques fixer "arbitrairement" la valeur des objectifs du niveau contrôlé inférieur*". L'ajustement de cette déclinaison se faisant alors à travers un processus itératif "*prédétermination arbitraire, test de convergence, validation*" le long du processus de pilotage industriel.

Une difficulté supplémentaire est liée à l'agrégation des résultats (ou des données) permettant la globalisation d'indicateurs locaux en un indicateur de niveau supérieur. Cette difficulté provient d'une part de la non homogénéité des unités d'oeuvre exprimant ces indicateurs et de l'absence d'opérateurs mathématiques simples d'agrégation et d'autre part de l'utilisation de règles de pondération subjectives dans l'évaluation multi-critères (pour plus de détails voir les travaux réalisés à Toulouse (LAAS ou INSA) sur la cohérence des décisions en planification hiérarchisée. Par exemple [Mercé, 87][Aldanondo, 92][Dauzere-Peres, 92]).

#### **4. Proactivité et gestion des aléas**

Définir l'aléa de manière contextuelle en regard des objectifs assignés, conduit à placer les indicateurs de performance au coeur de la proactivité. Des objectifs étant assignés aux différentes activités de l'organisation productive, leur réalisation est suivie au travers d'un certain nombre d'indicateurs de performance, pour lesquels une plage de fonctionnement

nominal a été préalablement définie. Tout écart entraînant un indicateur hors de sa plage de bon fonctionnement est alors considéré comme un aléa affectant les objectifs de l'activité concernée.

Les objectifs d'une activité constituent dans notre démarche le référentiel au travers duquel seront interprétés les aléas pour cette activité. Les indicateurs de performance associés à ces objectifs constituent les représentations, le système d'information, permettant de détecter les aléas ou les situations à risque.

Leur interprétation doit ainsi conduire à une identification et même une anticipation des changements d'état, c'est-à-dire des aléas apparus ou possibles. Elle doit aussi permettre, à travers le maillage des indicateurs, une analyse des causes probables de ces aléas pour guider la décision. Cela nécessite :

- Une bonne compréhension de la dynamique interne de la performance globale. Il s'agit de structurer les indicateurs de manière à mieux maîtriser les interactions des différents paramètres ou des différentes activités. Ce point s'inscrit dans le processus d'évaluation et peut conduire à une remise en cause des objectifs.
- Une bonne appréhension du contexte, afin de mieux comprendre l'interaction de l'environnement avec l'activité. Ce point concerne l'influence de l'environnement sur la performance.

Les indicateurs interviennent donc dans la phase d'anticipation et de détection de l'aléa et constituent le déclencheur de la proactivité (avant l'aléa) et de la réactivité (pendant l'aléa). Après l'aléa, il s'agit de capitaliser l'expérience afin d'améliorer les connaissances sur le pilotage de l'activité. Nous identifions alors trois phases d'action qui, reliées, constituent une boucle de retour d'expérience autour de l'aléa : la boucle de proaction (figure 3.10).

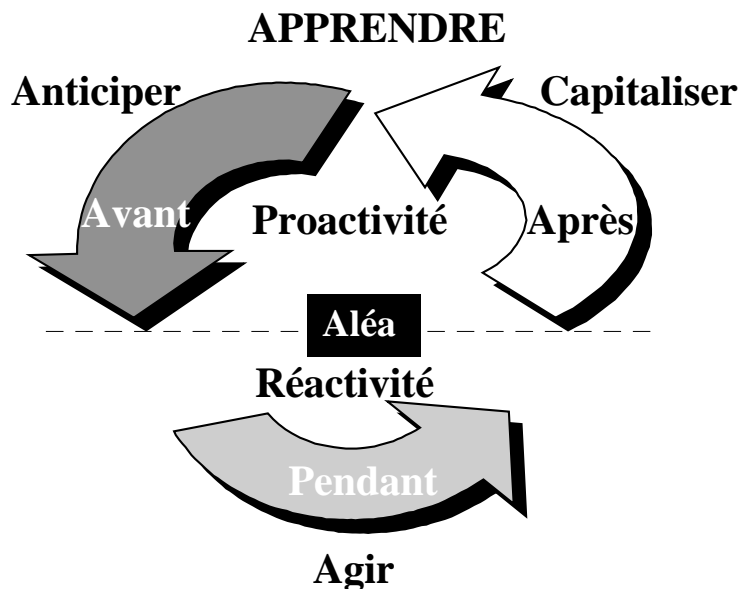


figure 3.10. La noria de la proaction

Nous distinguons deux phases relevant de la proactivité :

- Avant : il s'agit d'anticiper l'apparition d'aléas. L'un des rôles principal du système proactif est de garantir le respect du fonctionnement nominal et d'identifier à travers les indicateurs les conditions de dégradation qui pourraient conduire vers des situations à risque. Cette phase s'appuiera sur une construction du système d'indicateurs de performance permettant l'anticipation des situations à risque.
- Après : il s'agit de capitaliser l'expérience acquise afin de retenir des solutions déjà éprouvées, ou d'améliorer les connaissances sur le processus afin de trouver ultérieurement de nouvelles solutions, de réorganiser les ressources, de modifier les objectifs ou les indicateurs, etc. Il s'agit aussi d'apprendre sur le contexte afin de mieux comprendre son influence sur les performances de l'activité concernée.

Concernant la phase de réactivité, notre attention se focalise sur les décisions à prendre pour traiter l'aléa pendant sa phase active :

- Pendant : il s'agit, de mettre en oeuvre tous les moyens dont dispose le niveau réactif pour minimiser les effets de l'aléa et permettre un mode de fonctionnement de l'activité assurant un niveau de performance acceptable, d'adapter le fonctionnement du système à la situation



## 5. conclusion

Placer la gestion des aléas au coeur de la performance des entreprises pose d'une part le problème de la définition des aléas, et d'autre part le problème de l'évaluation de la performance, dans le cadre d'une approche multivues des organisations productives.

Nous avons choisi de réunir ces deux problématiques pour les traiter de manière corrélée, et de ne pas donner de définition intrinsèque de l'aléa, mais de proposer de le décrire par rapport à un objectif. Ceci nous a permis de définir une approche générique de l'aléa, valable à tous les niveaux de l'organisation, et connectée à l'activité : nous l'avons caractérisé comme une rupture du fonctionnement nominal du système, c'est-à-dire comme un écart par rapport aux objectifs fixés, qui fait passer le système observé d'un état de fonctionnement approprié dans un état de fonctionnement impropre. Le principe de la gestion des aléas repose alors sur la définition, pour chaque objectif et donc pour chaque activité, d'un fonctionnement nominal, et sur le maintien des indicateurs de performances dans le cadre ainsi accepté.

L'aléa, c'est-à-dire le passage dans un état impropre, ou la situation à risque qui peut conduire vers cet état impropre, sont ainsi placés au centre du pilotage réactif (pendant l'aléa) et proactif (avant et après).

Nous avons montré dans ce chapitre comment les indicateurs de performance associés aux objectifs, pouvaient permettre les représentations anticipatrices support de la proactivité dans le pilotage des activités.

Après avoir développé dans le premier chapitre l'importance des modes organisationnels, de l'interprétation et de l'activité cognitive des acteurs dans le pilotage proactif des activités, puis avoir dans le chapitre 2, proposé une architecture de pilotage réactif et proactif centrée sur l'organisation des ressources et la flexibilité, nous avons décrit dans le chapitre 3 les déclencheurs du comportement proactif.

Nous allons maintenant développer un modèle global permettant d'intégrer ces différentes notions : organisation, activité, pilotage, interprétation, rationalité, connaissances, comportement proactif et comportement réactif.

## **Chapitre 4 :**

### **bases d'une modélisation des organisations productives**



## 1. Introduction

Nous avons montré que, suite aux changements relatifs au nouveau contexte de production, il n'est plus seulement demandé aux différents niveaux des organisations productives d'exécuter des ordres qui seraient déclinés à partir du niveau stratégique jusqu'au niveau opérationnel. A tous les niveaux de décision il est nécessaire d'apprendre, de faire des choix, de prendre des initiatives, de façon à développer les compétences locales nécessaires et à fournir les réponses les mieux adaptées aux situations récurrentes ou nouvelles, des réponses innovantes et plus génériques.

Les deux voies envisagées pour atteindre ces objectifs s'appuient sur de nouvelles structures organisationnelles reposant sur la décentralisation des décisions et l'apprentissage. L'accent est alors mis sur :

- la relative autonomie des acteurs, la mobilisation de leur activité cognitive liée à un apprentissage local,
- la mise en oeuvre de processus d'interaction nécessaires à la coopération et la coordination de ces sous-systèmes semi-autonomes,
- la cohérence globale de l'organisation, nécessaire à toute structure décentralisée.

Ces nouvelles exigences du pilotage du système de production ont donc de réelles incidences sur la démarche de modélisation.

Se pose aussi le problème de l'approche méthodologique permettant une représentation, et donc supportant un discours autour de la réactivité et de la proactivité, dans le cadre d'une réflexion globale portant sur le pilotage des activités. Les différentes approches d'un système de production sont relatives aux différentes vues que les acteurs ou les observateurs peuvent en avoir. Elles sont aussi relatives aux différents niveaux d'appréhension, temporel, spatial, hiérarchique, etc., auxquels on se place. Chaque acteur a sans doute la capacité de réaliser une synthèse autour de ses propres modèles du système et, à partir d'exemples, de développer une argumentation sur sa vision de la proactivité et de la réactivité. Cette vision du problème quoique intéressante rend difficile le développement d'une approche méthodologique du pilotage telle que nous l'avons décrite dans les premiers chapitres, et ne peut conduire à la

compréhension et à la spécification d'un système réactif et proactif (organisation ou pilotage d'une activité).

Nous allons poser dans ce chapitre les fondements du modèle que nous avons développé pour la représentation du pilotage proactif et réactif.

## 2. Démarche et finalités de la modélisation

Lorsqu'on se trouve face à un phénomène aux dimensions multiples et aux contours flous, l'un des premiers réflexes est d'essayer d'en élaborer un modèle de compréhension. J.L. Le Moigne définit ainsi le processus de modélisation comme une "*élaboration et construction intentionnelle, par composition de symboles, de modèles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intention délibérée au sein du phénomène*" [Le Moigne, 90].

Les deux objectifs que l'on peut assigner à un modèle sont d'une part ses capacités d'explication, de description ou de compréhension (modèle destiné par exemple à interpréter des comportements observés, ou à partager un univers de discours), et d'autre part, son aptitude à guider l'action (conception, simulation, contrôle/commande, etc.).

Nous entendrons donc par modèle une structure conçue (artefact), capable de rendre intelligible une réalité donnée en ordonnant et en mettant l'accent sur les entités ou les relations les plus significatives, de sorte à mieux la connaître ou mieux agir sur elle.

Dans le cas qui nous préoccupe, les modèles doivent d'être suffisamment génériques pour être reconnus compris et validés par l'ensemble des acteurs de l'entreprise, gestionnaires, directeurs de production, ingénieurs, commerciaux, etc., et suffisamment ouverts pour permettre une représentation partageable du problème. Ils doivent aussi permettre d'exprimer les notions de réactivité et de proactivité à différents niveaux de l'entreprise, acteurs, processus, équipes, etc., jusqu'au niveau de l'organisation elle-même.

Deux types d'approches permettent de développer une démarche de modélisation : l'approche cartésienne et l'approche systémique.

## 2.1 L'approche cartésienne

L'approche cartésienne utilise essentiellement des méthodes d'analyse fonctionnelle qui consistent à décomposer hiérarchiquement les fonctions. On décompose ainsi l'objet de départ en sous parties disjointes suffisamment fines pour pouvoir être appréhendées. Ces parties seront étudiées séparément, et permettront ensuite de reconstituer l'objet initial.

Elle repose sur le principe que la connaissance de chaque entité (isolément) entraîne la connaissance globale et s'appuie sur quatre préceptes qui conduisent à une représentation canonique :

- Précepte d'évidence : la démarche de décomposition est unique.
- Précepte de réductionnisme : la priorité est donnée à l'analyse.
- Précepte d'exhaustivité : la décomposition entraîne un nombre entier et fini d'entités élémentaires.
- Précepte de causalité : le raisonnement peut être considéré comme linéaire, dépendant d'une loi de causalité établie.

## 2.2 L'approche systémique

L'approche systémique considère l'existence d'un certain nombre d'éléments qui constituent la structure du système mais insiste particulièrement sur l'importance des interactions entre ces éléments et sur leur évolutivité. Comme le précise P. Burlat, *"tous ces niveaux et éléments individuels sont eux même reliés par une grande variété de liaisons, de sorte que les caractéristiques de cette haute densité d'interconnexion sont tout aussi fondamentales pour déterminer le comportement global du système que les propriétés locales de ses parties"* [Burlat, 96].

Le paradigme systémique (figure 4.1) s'appuie sur quatre préceptes qui conduisent à une représentation suivant l'utilisation et les finalités du modèle :

- Pertinence par rapport à l'observateur ; il existe un problème de perception de l'objet qui conduit à différents points de vue d'un même phénomène.
- Globalisme par rapport à l'environnement qui indique que le système ne peut pas être isolé de son environnement.

- Téléologie où le comportement du système est dirigé par des buts.
- Agrégativité ; il existe des représentations simplificatrices des éléments en interaction du système. Ces représentations sont variées et non-exhaustives.

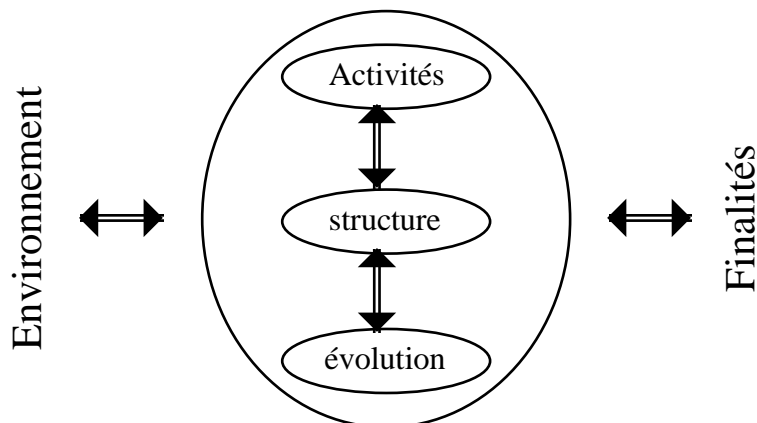


figure 4.1. Le paradigme systémique

### 2.3 Vers une décomposition en sous-systèmes

Il existe de nombreuses méthodes de modélisation utilisées en productique, pour la conception, la simulation ou le pilotage. Elles sont généralement basées sur la décomposition du système de production en trois sous-systèmes (décomposition OID de l'approche systémique [Le Moigne, 90]) :

- le système Opérant ou système physique,
- le système d'Information,
- le système de Décision.

Schématiquement, le système de décision prend les décisions nécessaires à la réalisation des objectifs du système physique en s'appuyant sur les informations fournies par le système d'information.

Cette décomposition a conduit à une certaine spécialisation des méthodes de modélisation, dont l'utilisation est soit orientée vers le système d'information (MERISE, IDEF1, OLYMPIOS, etc.) soit vers le système de décision (GRAI, SADT, IDEF2, AMS, etc.) soit vers le système physique (Grafcet, Réseau de Petri, etc.) [Pierreval, 90][Doumeingts et Vallespir, 91].

Il existe trois conceptions différentes de l'articulation de ces sous-systèmes. Au delà de leur différence dans la représentation graphique, ces architectures sont aussi significatives d'approches différentes du système de production.

### 2.3.1 Le système d'information en interface

Dans la vision qu'on pourrait caractériser de cybernétique, le système d'information constitue une interface entre le système physique et le système de décision (figure 4.2). Il a alors essentiellement un rôle de système de communication : transmission des mesures collectées sur le système physique au régulateur et retour des ordres du régulateur vers le système régulé.

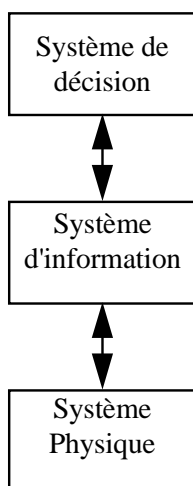


figure 4.2. Le système d'information comme interface

### 2.3.2 Le système d'information en parallèle

Cette vision a été très fortement développée dans le modèle GRAI aujourd'hui très connu dans la modélisation en productique [Doumeingts, 90]. Le système d'information n'est pas, comme dans la vision précédente, une interface entre le système de décision et le système physique, mais il est parallèle au système de décision et constitue avec lui le système de gestion de production (figure 4.3).



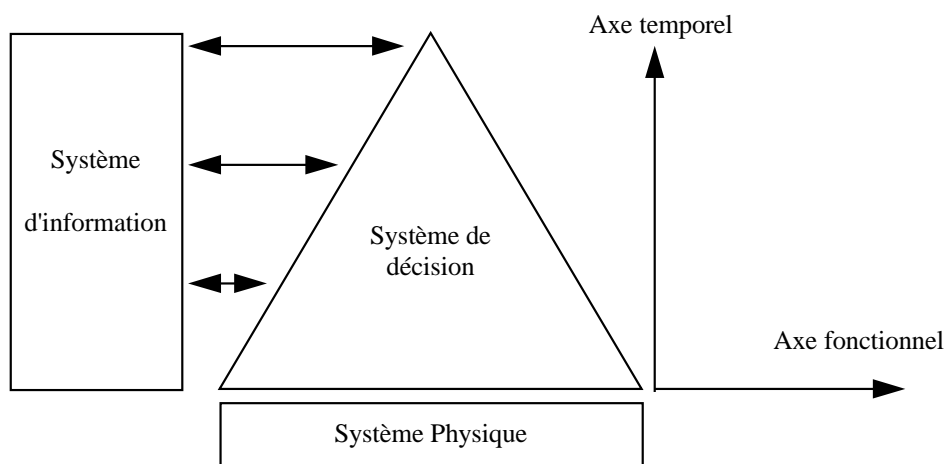


figure 4.3. Le système d'information en parallèle

L'objet de cette méthode porte plus particulièrement sur les processus décisionnels, classés à la fois sur un axe temporel (la représentation pyramidale symbolise une décomposition temporelle proche des niveaux de décomposition décisionnels d'Anthony, soit du stratégique à l'opérationnel) et sur un axe fonctionnel (chaque niveau est détaillé en fonction de base : planifier, fabriquer, etc.).

### 2.3.3 Le système d'information réparti

La troisième approche consiste à représenter le système d'information comme toile de fond continue du système de décision et du système physique (figure 4.4) [Pierreval, 90]. Cette approche relève d'une vision plus répartie de l'information.

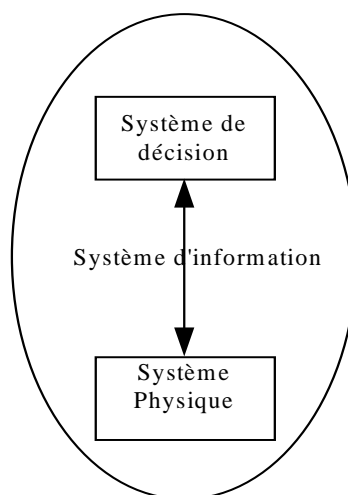


figure 4.4. Le système d'information réparti

### **2.3.4 Vers des modèles intégrés pour la productique**

Trois techniques de modélisation d'entreprises font principalement aujourd'hui l'objet de développements et ont été retenues par la "task force" de l'IFIP/IFAC [Doumeingts et Ducq, 96] :

- PERA qui n'utilise pas de formalisme de modélisation mais insiste sur la nécessité d'une approche structurée et méthodologique. Son objectif est de permettre la description du cycle de vie d'un projet CIM (conception, développement, implémentation et recyclage). Cette méthode met aussi en avant la nécessité de prendre en compte le rôle de l'homme dans un projet CIM.
- CIMOSA qui est une architecture normative destinée à favoriser l'évolution des entreprises manufacturières vers le concept CIM. Elle est composée d'un cadre de modélisation et d'une infrastructure d'intégration essentiellement basée sur la rationalisation des technologies de l'information (vision informatique de l'intégration).
- GIM qui utilise trois formalismes de modélisation déjà connus pour réaliser un modèle synthétique : GRAI pour le système décisionnel, IDEF0 pour la modélisation du système physique et Merise pour la modélisation du système d'information. L'une de ses particularités est de différencier deux domaines : un domaine orienté utilisateur, représenté à travers ses différents aspects (fonctionnel, décisionnel, informationnel, physique), et un domaine orienté technologie qui définit les spécifications techniques (IT, technologies de production, etc.).

La plupart des méthodes de modélisation des systèmes manufacturiers sont basées sur des approches de décomposition fonctionnelles afin de maîtriser la complexité. Le modèle intégré repose souvent sur l'utilisation de plusieurs formalismes, ce qui ne facilite pas la compréhension globale du modèle.

## **2.4 Modélisation objet**

L'approche objet semble être une approche relativement naturelle s'appuyant sur une représentation modulaire d'un système complexe. Des entités logiques possédant des caractéristiques propres sont identifiées afin de constituer des briques de description réputées génériques. Ces briques, qui ont une correspondance dans le monde physique, permettent la construction du modèle global du système réel. Lorsque un système est constitué d'un nombre

assez grand d'objets, et qu'il correspond à la perception d'une autre réalité physique, un mécanisme d'encapsulation permet d'en faire à son tour un objet (une machine est un objet, un transporteur est un objet, l'encapsulation de deux machines (deux objets) et d'un transporteur (un objet) les reliant (une relation) permet de composer un autre objet (par exemple une cellule de production).

Le paradigme objet ne véhicule cependant pas en lui même de méthodologie de modélisation pour les systèmes de production : quels objets modéliser, quelles classes choisir pour une application, etc. Les méthodes de modélisation orientées objet s'appuient ainsi pour l'essentiel sur des modèles classiques : modèle Entité-Association, Réseaux de Petri ou encore actigrammes. Elles ne résolvent pas le problème de l'identification des objets, de leur comportement, et de leurs modes d'interaction.

Ce paradigme présente cependant l'avantage d'être aussi une méthode logicielle et donc de permettre le développement d'outils d'aide à la décision, en conception comme en conduite d'atelier.

## **2.5 Conclusion**

Les premiers chapitres ont montré l'importance de l'interprétation et de l'activité cognitive des acteurs dans le pilotage des activités. La considération de l'entreprise comme un système socio-technique, le pilotage décentralisé et l'autonomie des acteurs nous ont amené à considérer l'importance des choix individuels dans la décision. Nous avons aussi insisté sur la nécessité d'un rapprochement entre activité et système de décision.

Nous avons montré d'autre part l'évolutivité des structures, notamment à travers les exigences de remise en question que constitue l'évaluation des performances que nous avons présentée comme un processus dynamique. Enfin, nous avons insisté sur l'influence de l'environnement tant interne notamment à travers les processus d'interaction, qu'externe (la performance de l'entreprise ne résulte pas uniquement d'une optimisation interne des procédés).

Nous plaçons ainsi notre étude dans le cadre d'une modélisation systémique telle que présentée précédemment, avec le souci de partageabilité nécessaire à une représentation multivues.

Il découle des remarques précédentes un certain nombre de points que le modèle doit permettre de prendre en compte pour représenter correctement le problème posé :

- intégration de la dimension "pilotage" des activités, et donc de la dimension cognitive de la décision,
- intégration de la gestion des aléas à travers les objectifs et contextualisation de la performance,
- prise en compte explicite des ressources,
- intégration de la dimension organisationnelle,
- capacité à modéliser la proactivité.

Afin de satisfaire ces exigences, nous prendrons comme premier élément central de notre modélisation le concept d'activité autour duquel nous développerons une structure de centre de décision intelligent : l'agent.

### **3. Modélisation et activité**

Parmi les multiples méthodes de modélisation des systèmes de production un nombre important utilise la notion d'activité. Les plus connues sont : AMS (Analyse Modulaire des Systèmes), SADT (Structured Analysis and Design Technique), IDEF (Integrated computer manufacturing DEFinition), GRAI (Graphes à Résultats et Activités Inter-reliées), etc.(voir un panorama dans [Daihani, 94]).

La force et l'intérêt de ces approches est qu'elles permettent d'avoir une vision globale, même si elle s'avère simplificatrice, des systèmes de production et de représenter un système complexe de manière compréhensible. Leur utilisation permet de se représenter les systèmes de production comme un ensemble d'activités liées les unes aux autres par des flux de différentes natures [Daihani et Ardiwinata, 95] [Mhamedi *et al.*, 95] [Clermont *et al.*, 95]. La modélisation dérivée de ces méthodes consiste alors à identifier les activités qui composent les systèmes de production, leurs modes de relations et les types d'interaction entre elles.

La notion d'activité est également bien intégrée par une partie de la communauté des gestionnaires et économistes [Deslandres *et al.*, 97]. En effet, les méthodes traditionnelles de calcul de coût sont basées sur des modèles d'organisation relativement anciens, distinguant par exemple ce qui est direct de ce qui est indirect, ce qui est fixe de ce qui est variable, sur la

base de la division du travail taylorienne [Jacot et Micaelli, 96]. Ces méthodes paraissent aujourd'hui dépassées quant à leur capacité à ventiler les différents postes de dépense de façon conforme aux processus physiques et informationnels par lesquels l'entreprise crée de la valeur et génère des dépenses. Ainsi, de nouvelles méthodes nées de projets internationaux comme le projet CAM-I, ou la Comptabilité à Base d'Activité (Activity Based Costing : ABC) permettent de mieux prendre en compte la nouvelle réalité des systèmes de production [Mévellec, 93] [Mévellec, 96b].

De même, le concept d'analyse par les activités est de plus en plus utilisé en reengineering car cette approche focalise l'attention et l'action sur le processus plutôt que sur le résultat et favorise les échanges d'information, les processus coopératifs et les activités parallèles [Kuziak, 93].

La notion d'activité est ainsi relativement large et présente des significations parfois différentes suivant les approches :

- Pour les ingénieurs, les méthodes comme SADT ou IDEF s'appuient sur une décomposition modulaire, hiérarchique et structurée d'une activité globale unique. Les activités résultant de cette décomposition forment soit des enchaînements séquentiels, sur un même diagramme, soit des constructions hiérarchiques résultant du zoom sur une activité (diagramme de niveau inférieur). Le principe même de lecture/écriture de ces méthodes, de gauche à droite et de bas en haut, implique une certaine rigidité dans la décomposition des activités : les d'activités se déroulent de manière séquentielle et rien ne permet la représentation d'activités se déroulant en parallèle, il n'existe pas de principe de coordination ni de coopération entre activités, pas d'aller retour, etc.
- Pour les gestionnaires, l'activité est caractérisée par une production mesurable [Lorino, 91]. Si ce point ne pose pas trop de difficultés pour les activités productives, il est beaucoup plus ardu pour celles dites improductives, comme les activités support, ou les activités de service (comme les opérations de logistique (mise à disposition de ressources), d'équilibrage (gestion des ressources pour équilibrer l'offre et la demande), de mise à jour (correspondance entre système d'information et système réel) ou de contrôle). Le principe de l'ABC repose sur 5 étapes, dont la première consiste à partitionner l'entreprise en activités. Cette partition ne se fait pas en utilisant les méthodes de l'ingénieur vues précédemment, mais en décomposant les centres de

responsabilité de l'entreprise en activités homogènes. C'est à l'analyste, en fonction de ses observations et de son expérience, de la structure du système d'information et de la stratégie de l'entreprise, de dessiner la carte des activités qui seront isolées [Mévellec, 96a].

- Ensuite, alors que l'ingénieur s'intéresse aux ressources nécessaires à la réalisation d'une activité qui consomme des entrées et produit des sorties, le gestionnaire se préoccupe de la consommation de ressources au sein de chaque activité en fonction du volume de production.

Nous retiendrons comme définition de l'activité :

*ensemble d'opérations finalisées, effectuées grâce à des ressources, dans le but de transformer des entités consommées en entités produites.*

Le fonctionnement d'une activité repose sur trois éléments qui sont [Pourcel, 93] :

- une partie opérative représentant l'exécution des opérations entraînant la transformation,
- une partie opérande représentant les objets manipulés par la partie opérative (entrant, extrant),
- une partie conduite dont l'objectif est l'élaboration des signaux de commande destinés à la partie opérative, en fonction notamment d'objectifs et de contraintes fixés par la conduite externe.

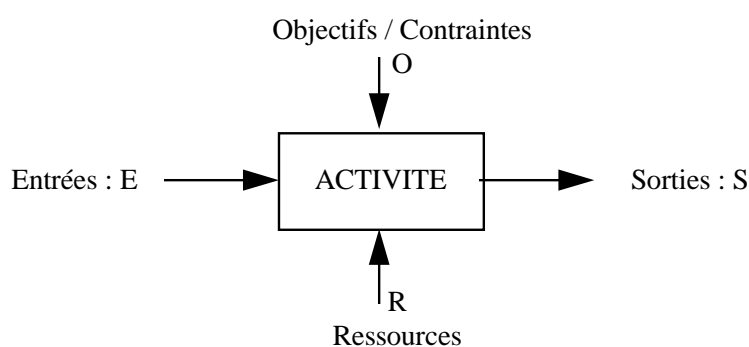


figure 4.5. Symbolisation de l'activité

L'activité est finalisée par les objectifs définis par le système. Mais ce modèle se comporte comme un système de type boîte noire, dans lequel le modèle interne est prédéfini, déterministe : les objectifs et contraintes permettent de sélectionner la meilleure action de

conduite interne parmi l'ensemble des actions possibles. Si on écarte les activités fortement automatisées pour lesquelles le déroulement est déterministe puisqu'entièrement câblé, le résultat d'une activité dépend par ailleurs de la manière dont l'activité est conduite. Au delà de ce qui doit être fait, la manière dont cela doit être fait influence le résultat et le processus.

La mise en évidence de comportement proactif dans la conduite d'une activité ne peut se satisfaire de ce schéma. La proactivité, qui repose sur les notions d'apprentissage et d'amélioration des connaissances impose l'existence de modèle de pilotage interne des activités plus complexes que le simple choix entre deux alternatives.

D'autre part, l'intégration dans la proactivité de la notion de réorganisation des ressources repose sur l'existence d'interactions entre les différentes activités, notamment l'existence de modes de coopération et de coordination destinés à adapter la réponse du système global aux aléas. Ces interactions, qui ne sont pas prises en compte dans les modèles traditionnels, montrent le caractère non statique de l'affectation des ressources et l'existence de liens horizontaux existant entre les activités.

#### **4. Le modèle Agent**

Les remarques précédentes nous ont amené à retenir le concept d'activité comme fédérateur pour la description et la modélisation des systèmes de production dans le cadre d'une approche multivues.

Cependant, ce modèle nous semble relativement mal adapté pour modélisation de la décision, de l'activité cognitive des acteurs et des connaissances mises en jeux dans leur pilotage. Les différents points mis en avant dans les premiers chapitres nous conduisent à enrichir ce modèle par un autre, issu des recherches en Intelligence Artificielle Distribuée : les systèmes multi-agents.

Les agents représentent les entités permettant de décrire une organisation. Une entité, suivant le niveau de détail auquel on se place, peut représenter un individu (l'agent peut représenter par exemple un opérateur) ou un collectif (l'agent peut représenter un groupe ou une équipe). Chaque agent se voit confier la réalisation d'une activité dans le système. Il dispose pour cela de ressources, matérielles, humaines, financières, etc., qui peuvent être dédiées ou partagées. Ces ressources, qui sont en nombre limité, constituent à la fois des contraintes et des degrés

de liberté pour l'agent. Sa mission principale consiste à combiner les ressources dont il dispose pour réaliser son activité de manière à satisfaire les objectifs qui lui ont été assignés [Neubert et Campagne, 96b].

Avant de présenter plus en détail au chapitre suivant le modèle de représentation que nous avons élaboré pour répondre à notre problématique, nous développerons un certain nombre de fondements de cette approche "Agent", essentiellement issue sous sa forme actuelle, de la communauté informatique.

#### 4.1 Présentation

Les notions d'agent et de système multi-agents sont issues du domaine de l'informatique et plus particulièrement de l'intelligence artificielle (IA) et de l'informatique des systèmes distribués. Il n'existe pas aujourd'hui de définition unique de ce qu'est un agent, ni de méthodologie associée à sa conception. Nous avons écarté de notre présentation certaines approches trop informatiques (technique et implémentation) de ce terme et choisi de ne retenir que les aspects modélisation.

Cette approche s'appuie sur une critique des systèmes informatiques centralisés et séquentiels [Durfee et Rosenschein, 94] et repose à la fois sur des éléments théoriques et pratiques [Ferber, 95] :

- sur le plan théorique d'abord, le domaine de l'IA a longtemps tenté de résoudre de manière complètement autonome des problèmes complexes. Mais l'apprentissage et l'intelligence d'une manière générale sont autant dus à la structure interne des systèmes (système informatique, artificiel, ou système humain) qu'à leurs interactions avec le monde extérieur (voir par exemple l'observation des sociétés animales). L'une des critiques essentielles adressée à cette approche de l'IA a donc été l'incapacité des programmes à interagir de manière significative.
- sur le plan pratique ensuite, la complexité croissante des problèmes traités dans ce domaine a conduit à la construction de systèmes informatiques de plus en plus complexes, jusqu'à devenir inexploitables. La nécessité de décomposer les problèmes en problèmes plus simples, résolus localement par des unités relativement indépendantes mais en interaction a conduit à l'introduction de nouvelles méthodes de conception en génie logiciel ; on est passé de la notion de programme à celle d'organisation.



Ces remarques sont à rapprocher de celles présentées dans le chapitre 1 sur les théories des organisations. Elles permettent d'une part d'accorder plus d'importance à l'entité locale, à reconnaître son rôle dans un processus global et son insertion dans une organisation et montre d'autre part l'incapacité, dans les systèmes complexes, d'englober l'analyse et la décision dans un processus programmable unique (paradigme du contrôle).

L'approche agent peut être vue sous deux angles différents :

- En attribuant à l'agent un comportement, des connaissances, une intelligence, cette approche se place au sein des sciences cognitives et sociales. Les formalismes ne sont pas encore établis et stabilisés, mais cette méthode permet d'appréhender, de formaliser, et de modéliser des systèmes complexes, dans lesquels les problèmes sont distribués et leur résolution répartie. Elle met l'accent sur le comportement téléologique des agents qui sont dirigés par des buts explicites (nous verrons par la suite que toutes les catégories d'agents ne possèdent pas cette propriété).
- En étant issue de l'informatique, cette approche présente l'avantage d'être aussi une technique de développement de systèmes complexes, mettant en jeu les différents éléments cités précédemment : connaissances du domaine, méthodes de communication, interactions. Elle bénéficie donc d'un support technique d'implémentation et, à terme, de possibilités de validation.

## 4.2 Les apports de l'IAD

Dans son livre "Les systèmes multi-agents : Vers une intelligence collective", J. Ferber donne une définition qu'il appelle minimale du concept d'agent [Ferber 95].

L'agent est une entité, physique ou virtuelle,

*qui est capable d'agir dans un environnement, qui peut communiquer directement avec d'autres agents, qui est mue par un ensemble de tendances (objectifs individuels, fonction de satisfaction, etc.), qui possède des ressources propres, qui est capable de percevoir (de manière limitée) son environnement, qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement, qui possède des compétences et offre des services, qui peut éventuellement se reproduire, dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et*

*des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.*

Cette définition à la fois très précise et très générale ouvre des perspectives de recherche et d'application très variées : langages et protocoles de communication, distribution des connaissances et des compétences, reconnaissance et résolution de conflits entre agents (connaissances, buts, ressources, etc.), comportement et architecture d'un agent ou d'un groupe d'agents, organisation, etc.

On peut distinguer deux approches possibles pour la conception d'un agent, qui sont l'étude de l'architecture ou du comportement. L'architecture représente la vue interne de l'agent, dans une approche " boîte blanche ", elle est la richesse interne de l'agent, que l'on cherche à disséquer et à modifier pour agir sur les caractéristiques de l'agent. C'est par exemple l'enrichissement de la représentation de son environnement, ou de sa puissance cognitive. Une autre attitude est celle qui privilégie " l'observation " de l'agent, c'est-à-dire qui s'intéresse à son comportement. Cette approche peut être indépendante de la précédente, dans une vision de type " boîte noire ", mais nous verrons dans les paragraphes suivants la nature des relations que nous avons mis en évidence entre ces deux visions.

L'association de plusieurs agents en interaction peut permettre de représenter une organisation. On parle alors de Système Multi-Agents (SMA). Différentes approches sont explorées par la communauté IAD, qui distingue traditionnellement trois types d'agents :

- les agents réactifs,
- les agents cognitifs,
- les agents hybrides.

#### **4.2.1 Agent et Système Multi-Agents**

Un Système Multi-Agents (SMA) est un ensemble d'entités qui coordonnent leurs connaissances, buts, expériences et plans pour agir ou résoudre des problèmes, incluant le problème de la coordination inter-agents lui-même [Bond et Gasser, 88].

La question de l'organisation, au sens de la définition des compétences des agents, savoir ce que chaque agent fera et quand, est au coeur des préoccupations du courant cognitiviste. Le courant "réactif" se soucie tout autant de cette notion d'organisation, mais avec une vision un

peu différente. Alors que pour le premier l'organisation est un artefact destiné à définir les compétences des agents et leurs interactions, le second considère l'organisation comme émergente, c'est-à-dire comme résultant des interactions d'agents ne possédant pas de compétence<sup>21</sup> individuelle. C'est le cas, par exemple, des fourmis (agents) et de la fourmilière (organisation).

La prise en considération de la notion d'organisation apporte un niveau supplémentaire dans la modélisation à base d'agents.

Elle reconnaît tout d'abord à l'organisation un rôle particulier qui n'est pas celui d'un agent. On ne peut donc pas considérer l'organisation comme une sorte de Meta-Agent à granularité très forte. On reconnaît à l'organisation des propriétés différentes et caractéristiques.

Elle reconnaît ensuite différentes frontières entre plusieurs systèmes, même si celles-ci ne sont pas définies explicitement : le niveau agent, le niveau organisation et l'extérieur de l'organisation. Elle replace ainsi l'action dans un contexte, dans un environnement, que ce soit celui de l'agent ou celui de l'organisation.

### **4.2.2 Les agents réactifs**

Au sens de l'IAD, les agents réactifs n'exécutent que des actions de type réflexe. Leur comportement est régi par la perception et repose sur des mécanismes de réaction aux événements. Ils n'ont aucune représentation de leur environnement et aucune capacité de raisonnement. Leur réaction aux événements ne prend en compte ni une explicitation des buts, ni une planification de leurs actions ; ce mode ne permet pas de prévoir ce qui va se passer (pas d'anticipation, le plan s'il existe doit avoir été décrit préalablement par le concepteur). Les agents purement réactifs ont des comportements rigides, car la réaction à un événement est unique et doit avoir été "programmée" au préalable. Par contre, comme elle ne nécessite aucun temps d'analyse, cette réaction est aussi beaucoup plus rapide et plus efficace si elle est pertinente.

---

<sup>21</sup>La notion de compétence est à prendre ici au sens de "savoir, pouvoir, vouloir", c'est à dire d'une représentation explicite des connaissances de l'agent, de son rôle dans l'organisation et de sa capacité cognitive, de sa relative autonomie de décision, et de son comportement téléologique.

### **4.2.3 Les agents cognitifs**

Les agents cognitifs sont des entités plus complexes, "intelligentes", qui disposent d'un ensemble structuré de connaissances, d'informations, de savoir faire, leur permettant de construire un raisonnement. Ils disposent de capacités de mémorisation et leur comportement est réfléchi, dirigé vers des buts précis, explicites. La caractéristique qui nous semble la plus importante dans les agents cognitifs est le fait qu'ils disposent de capacités d'anticipation sur les événements futurs. Comme le précise J. Ferber [Ferber, 95], ils disposent pour cela de représentations du monde, sont capables à la fois de mémoriser des situations, de les analyser, de prévoir des réactions possibles à leurs actions, d'en tirer des conduites pour les événements futurs et donc de planifier leur propre comportement.

### **4.2.4 Les agents hybrides**

En pratique, la distinction réactif/cognitif ne constitue pas une frontière bien délimitée. L'intérêt des premiers réside dans leur nombre (c'est-à-dire au niveau SMA), "l'intelligence" globale émergeant de leurs interactions. Celui des seconds trouve son origine dans leurs capacités cognitives individuelles et la richesse de leurs représentations, ce qui leur permet de traiter des situations complexes. Cependant, une troisième catégorie d'agent qualifiée d'agent hybride possède à la fois des capacités cognitives et réactives à travers différents niveaux de traitement de l'information.

D'un point de vue implémentation, ces différents niveaux sont structurés en couches. Deux types d'architecture se côtoient : les architectures en couches horizontales et les architectures en couches verticales (figure 4.6) [Muller *et al.*, 95].

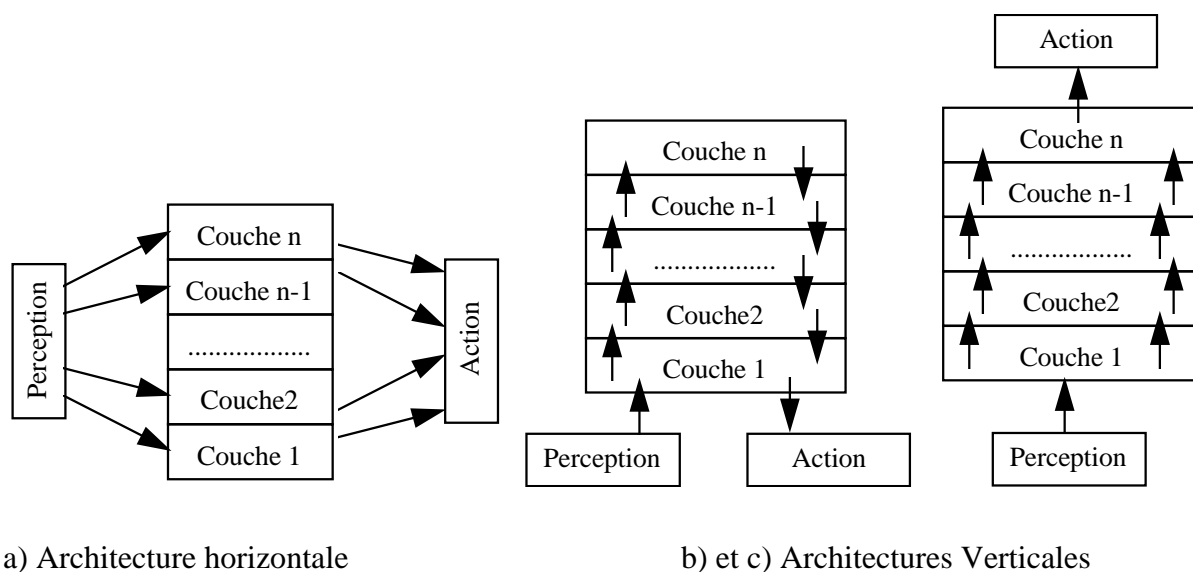


figure 4.6. Deux types d'architecture multi-niveaux

Avec une architecture horizontale, dont un bon exemple est l'architecture en trois couches de la *TouringMachines* de Ferguson [Ferguson, 95], toutes les couches traitent simultanément l'information perçue. Il faut alors un processus de sélection de la sortie à appliquer. Dans de nombreux cas, comme celui de la *TouringMachines*, il existe aussi des processus d'activation ou de désactivation de niveaux en entrée. Ces processus sont relativement complexes et mis en oeuvre au cas par cas.

Avec une architecture verticale, le degré d'abstraction des connaissances est généralement corrélé au niveau (voir le modèle INTERRRAP dans [Müller *et al.*, 95]). Le nombre d'interactions entre niveaux est réduit, mais le niveau 1 constitue généralement un goulet d'étranglement. De plus, l'information doit être traitée par le niveau n-1 avant de pouvoir l'être par le niveau n. Dans ce type d'architecture aussi il est nécessaire d'avoir un module pour choisir le niveau (si possible le meilleur) ou l'on s'arrêtera.

On peut alors considérer que le problème du fonctionnement d'un agent est résolu par un système multi-agents, dans lequel chaque module ou couche est représentée par un agent, ces agents devant coopérer entre eux, être supervisé, dirigé, etc. On se trouve alors face à la délicate réflexivité du problème : la définition de l'architecture de l'agent passe par la définition de l'architecture d'autres agents et de leurs modes d'organisation.

#### 4.2.5 Agent et apprentissage

L'apprentissage constitue un des éléments importants des systèmes multi-agents. Cependant il faut bien faire la distinction entre les deux formes d'apprentissage que l'on peut trouver au sein de ces systèmes. L'une se situe directement à l'échelle de l'agent, et l'autre à un niveau supérieur, celui du système multi-agents (SMA). Cette distinction apportée par la communauté IAD est, nous le verrons conforme aux commandements que nous développerons au chapitre suivant, concernant l'agent proactif (niveau agent) et l'organisation proactive (niveau SMA).

### 4.3 Modèle agent et systèmes de production

Les rapprochements que l'on peut mener avec l'étude et la modélisation des systèmes de production sont nombreux. Deux points nous semblent particulièrement importants à souligner :

- L'entreprise est un système complexe et finalisé ; elle dispose d'une organisation, c'est-à-dire d'une structure qui assure la division et la coordination des tâches en vue d'atteindre certains objectifs globaux. L'entreprise est un système naturellement distribué, son savoir faire, ses compétences, ses connaissances ne sont pas centralisés ni détenus par une entité unique. Chaque individu ou groupe d'individus dans l'entreprise possède une partie de cette connaissance, nécessaire à la réalisation de ses activités, et d'autre part, la réalisation d'activités ou de processus complexes dans l'entreprise repose sur l'interaction de ces différents individus (négociation, échanges d'informations, réunion, etc.).
- L'amélioration des performances du système global repose tant sur les capacités internes des individus à apprendre et à améliorer leurs connaissances, que sur leurs capacités d'interaction. [Camps *et al.*, 94]

On voit donc se dessiner deux axes de recherche pour l'étude des systèmes de production en utilisant les modèles agent [Gleize *et al.*, 94] :

- Recherche liée au domaine : cet axe concerne la modélisation des agents du système de production, leur identification et la définition de modèles génériques de comportement. F. Vernadat distingue par exemple, dans la modélisation des entreprises, trois classes

d'agents, les machines, les applications et les hommes [Vernadat, 97]. Elles constituent ce qu'il appelle les ressources actives de l'organisation.

- Recherche liée à l'organisation : cet axe concerne les processus d'interaction, coordination, coopération, collaboration, compétition, direction, etc., nécessaires à l'amélioration du système global. Il conditionne en grande partie la cohérence globale du système [Sen et Durfee, 94].

## 5. Conclusion

L'action de modéliser n'est pas neutre, elle est finalisée. Elle vise à réduire la complexité du système. Les difficultés de modélisation des systèmes de production proviennent de l'hétérogénéité des points de vue portés sur l'entreprise (ingénieurs, gestionnaires, etc.), de l'utilisation recherchée de ce modèle (comprendre, formaliser, partager, évaluer, exploiter, commander, concevoir, prédire), et de la complexité même de l'objet modélisé. La validité même du modèle est étroitement liée à sa cible, un modèle de commande doit refléter le plus possible la réalité, même si le modèle est très compliqué (par exemple le pilotage d'un airbus) ; un modèle de représentation doit permettre une appréhension simplifiée d'une réalité complexe.

Les systèmes multi-agents, issus des recherches en Intelligence Artificielle Distribuée semblent apporter une voie nouvelle intéressante pour la modélisation des entreprises. Ils permettent de modéliser à la fois l'organisation et les entités semi-autonomes qui la composent et placent, avec les agents cognitifs et hybrides, le comportement téléologique au coeur du pilotage des activités.

Ils permettent, sans doute aussi en raison du manque de formalisme qui les entoure, de construire des modèles de représentation simples, car relativement dépouillés, qui peuvent être affinés successivement, jusqu'à l'obtention de modèles implémentables.

A défaut de pouvoir proposer un modèle permettant d'intégrer toutes les représentations possibles du système de production, nous avons construit, en nous appuyant sur ces concepts informatiques, un modèle de compréhension et de représentation appropriable depuis un ensemble relativement large de points de vue. Il permet une représentation partagée du pilotage proactif et réactif des activités et intègre certains points de vue organisationnels.

Nous allons présenter dans le chapitre 5, les enrichissements que nous avons apportés à ce principe de modélisation afin de l'utiliser pour la représentation de systèmes réactifs et proactifs.





## **Chapitre 5 :**

**le modèle Agent/Activité pour une représentation du pilotage**

**proactif et réactif**



## 1. Introduction

Ce travail de recherche ne vise pas à proposer un nouveau développement informatique d'un modèle multi-agents, ni à mettre en oeuvre de nouvelles méthodes d'apprentissage automatique, ou à proposer une nouvelle architecture distribuée avec de nouveaux protocoles de communication. De nombreuses équipes françaises et étrangères<sup>22</sup>, plus spécialisées dans le domaine informatique font un travail pointu dans ce domaine, que nous souhaitons pouvoir exploiter un jour.

Notre contribution ne s'intéressera pas aux aspects informatiques de cette représentation, bien que le caractère exploitable, implémentable de la méthode soit important pour les développements à venir, mais aux possibilités de modélisation que peuvent apporter les systèmes multi-agents. Nous avons centré nos travaux sur la recherche d'un modèle de représentation qui puisse supporter un discours et une approche méthodologique de la proactivité. Le modèle agent nous a paru le plus apte à remplir cette fonction car il intègre de nombreuses notions développées dans notre argumentation : organisation, activité cognitive, apprentissage, comportement, interactions, buts individuels et collectifs, etc.

Nous allons préciser dans ce chapitre les différents points que nous avons soulignés et développés concernant ce modèle et qu'il sera nécessaire de prendre en compte, pour tout ou partie, dans toute tentative de représentation ou d'évaluation d'un système réactif et proactif.

## 2. Un modèle Agent / Activité

L'utilisation d'un modèle agent mis en relation avec un modèle activité pour la représentation d'un système de production pose le problème de la relation entre les deux modèles et de sa correspondance avec l'organisation réelle de l'entreprise et la réalisation des activités.

Certains auteurs comme par exemple F. Vernadat proposent de modéliser l'agent comme une ressource au service de l'activité [Vernadat, 97]. D'autres auteurs décrivent deux types d'agents,

---

<sup>22</sup>Afin de n'oublier personne, nous n'en citerons aucune. Le WEB contient désormais de très nombreux pointeurs sur les équipes et groupes travaillant dans le domaine.

ceux qui sont responsable de l'exécution d'un processus (enchaînement d'activités), et ceux considérés comme des ressources [Kuhlmann *et al*, 97].

Nous décrirons pour notre part l'agent comme une entité abstraite. Nous établirons alors sa relation avec l'activité, avec les acteurs du système et avec l'organisation.

### **2.1 Agent-Activité : une relation non biunivoque**

La réalisation d'une activité dans le système de production ne relève pas toujours, voire relève rarement, d'une seule personne, d'un seul acteur. La complexité d'une activité, son importance, ou tout simplement son caractère naturellement partagé conduisent très souvent à identifier plusieurs acteurs, ou agents physiques, pilotant simultanément ou séquentiellement une même activité.

Le cas de deux opérateurs travaillant en poste sur un même machine représente le partage séquentiel d'une même activité par deux acteurs. Un comité de gestion dans une entreprise est un exemple de partage simultané d'une activité par plusieurs acteurs physiques.

De même, certains acteurs de l'organisation sont impliqués dans le pilotage de plusieurs activités différentes. Ceci résulte parfois du découpage retenu pour les diverses activités de l'entreprise, ou du fait que l'activité identifiée ne nécessite pas la présence d'un acteur permanent.

Le chapitre 1 nous a montré que l'enrichissement des tâches et l'accroissement des responsabilités des acteurs font que, de plus en plus souvent, ces derniers se voient confier des activités multiples (fabriquer, contrôler, maintenir, régler, etc.).

De ce fait la relation acteur-activité n'est pas une relation biunivoque. Et la modélisation agent-activité peut emprunter deux voies différentes qui conduiront à deux modèles aux finalités distinctes :

- L'activité est première (figure 5.1) : on privilégie les informations autour de l'activité et la modélisation est orientée vers la représentation des processus et des connaissances nécessaires à leur réalisation (connaissances, informations, etc., nécessaires au pilotage des activités)

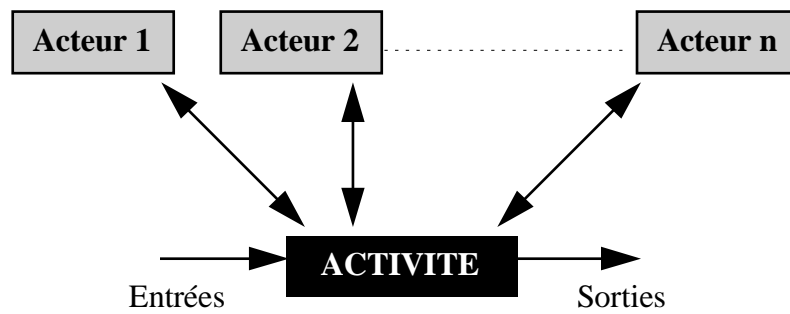


figure 5.1. Activité multi-acteurs

- L'acteur est premier (figure 5.2) : la modélisation, plus fonctionnelle, est alors orientée vers la représentation des acteurs, les connaissances et informations nécessaires à un poste, à une fonction dans l'entreprise.

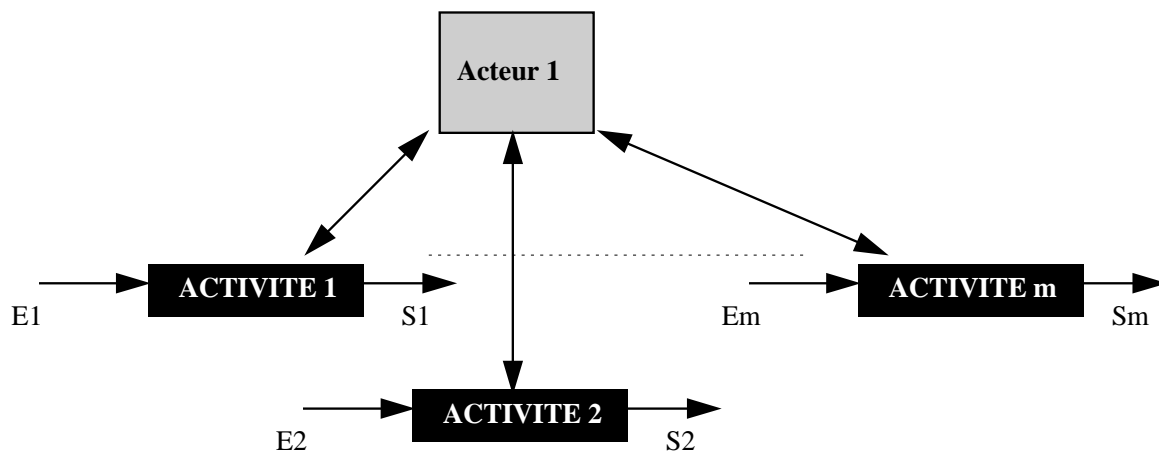


figure 5.2. Acteur multi-activités

## 2.2 Modèle conceptuel Agent/Activité

Le modèle que nous avons retenu est orienté activité et s'intéresse à la modélisation et la représentation de l'activité et du système décisionnel nécessaire à sa réalisation. Le tout est représenté par un modèle abstrait Agent/Activité (figure 5.3), dans lequel l'agent ne peut pas être identifié à un acteur unique, mais représente l'ensemble des acteurs impliqués dans le pilotage d'une activité, ce qui dans certaines méthodes de modélisation est appelé le Centre de Décision Intelligent (CDI) [Neubert et Campagne, 97].

Nous avons ainsi retenu de l'agent une vision conceptuelle centrée sur l'ensemble des connaissances, des méthodes, des règles, etc., nécessaires à la réalisation d'une activité, et sur les différents comportements possibles dans son pilotage.

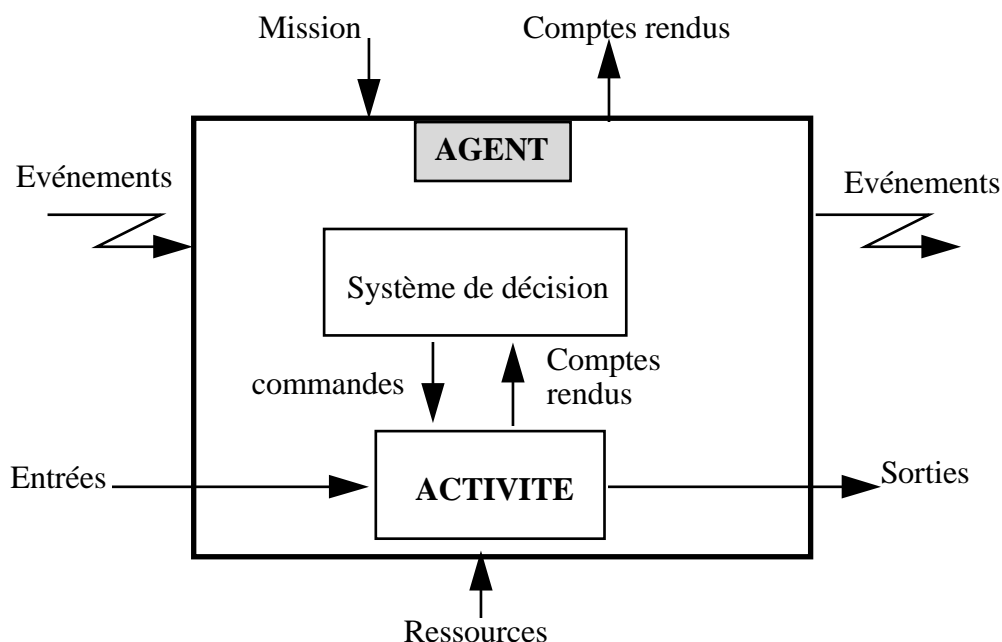


figure 5.3. Une vision conceptuelle de l'agent : le modèle Agent / Activité

Cette vision est à rapprocher de la notion de pilotage telle que nous l'avons définie dans le chapitre 1. Les objectifs ne sont pas fixés à l'activité elle-même, de même que les ressources nécessaires à sa réalisation ne lui sont pas affectées. C'est l'agent englobant l'activité qui est responsable de la réalisation de l'activité, qui doit garantir l'atteinte des objectifs et gérer l'utilisation des ressources en respectant le cadre collectif. Ce pilotage, en accordant une place centrale à l'interprétation de l'agent, se différencie donc d'un contrôle cybernétique préétabli.

Une ambiguïté persiste cependant sur la capacité de représentation d'un agent. Est-ce qu'une entité abstraite peut représenter un groupe, une équipe, et quelle est alors son statut par rapport à l'organisation ; reconnaît-on implicitement une structure parfaitement coopérative et uniforme dans un groupe et peut-on accorder à un groupe le statut de structure stable et non erratique?

Le niveau d'abstraction auquel on se placera déterminera une vision globalement uniforme de l'activité et de son pilotage. L'analyse à un autre niveau d'abstraction, par exemple l'éclatement de l'agent représentant une équipe, pourra faire apparaître des niveaux de

description différents, comme par exemple des interactions entre agents (coopération, coordination, etc.).

### **3. Proactivité, réactivité et modèle agent/activité**

Si l'on excepte le cas des activités purement automatisées, nous considérerons que tous les agents d'une entreprise possèdent plusieurs niveaux de décision et de réaction, et que ce sont des agents hybrides.

Nous allons décrire les propositions d'ordre méthodologiques que nous avons faites afin d'enrichir les modèles d'agents hybrides. En particulier, en formalisant la séparation entre traitement de l'information et comportement, nous avons pu construire un modèle générique adapté notamment à la représentation du pilotage réactif et proactif.

#### **3.1 Traitement de l'information et comportement**

Dans les nombreux travaux de la communauté multi-agents, une ambiguïté assez forte persiste entre d'une part le dispositif selon lequel l'agent traite les informations (ou les signaux) qu'il reçoit et d'autre part la manière dont ce dernier réagit.

Le vocabulaire utilisé n'est pas étranger à ce problème puisqu'il place sur un même niveau, ce qui relève de l'action et plus précisément de la réaction (niveau réactif) et ce qui relève de la réflexion ou de l'intelligence (raisonnement cognitif). Implicitement, et cela rajoute encore à l'ambiguïté, le terme réactif adresse deux cibles différentes, qui sont un mode de raisonnement (basé sur une gestion événementielle câblée) et un mode de comportement (action engagée suite à l'occurrence de l'événement), quand le terme cognitif ne désigne que le mode de raisonnement.

Ce problème est enfin lié au temps de calcul des systèmes informatiques qui ne permettent pas encore un comportement réactif, au sens de réponse en temps utile à l'événement, en utilisant un traitement symbolique. Ce point a conduit à considérer comme réactifs les agents ne disposant pas de capacité cognitive, mais dont la réaction, entièrement préprogrammée, est possible en temps utile.



Le traitement de l'information, c'est-à-dire la manière dont sont prises en compte les modifications de l'environnement, caractérise ainsi "l'intelligence" de l'agent, au sens de la compréhension du problème. De ce point de vue, les agents réactifs, au contraire des agents cognitifs, ne sont pas intelligents mais le comportement d'un ensemble d'agents réactifs à travers leurs multiples interactions, apparaît comme intelligent, cette fois au sens de la pertinence de la réponse.

D'un point de vue théorique, toute implémentation mise à part, il n'y a donc pas de formalisation de ces deux niveaux d'analyse de l'agent (en particulier, rien ne caractérise le comportement d'un agent cognitif). Nous pensons qu'un agent cognitif peut être réactif, c'est-à-dire capable d'élaborer en temps utile une réponse d'adaptation à une modification de l'environnement.

Nous allons pour cela proposer une approche qui met en évidence cette dichotomie et permet l'insertion de la proactivité dans les comportements de l'agent.

### **3.2 Traitement de l'information**

#### **3.2.1 Niveau réflexe**

L'ambiguïté du terme réactif est encore accentuée par les nuances de sens accordées par les différentes communautés participant au processus de modélisation :

- Pour la communauté productique par exemple, un système est réactif s'il est capable d'absorber des perturbations sans dégradation de la productivité. C'est une qualité d'adaptation (relative à bien réagir, voire réagir intelligemment), qui permet, par une bonne compréhension de la dynamique de l'entreprise et de son environnement, d'absorber en temps utile les changements. Un système réactif intègre dans ce cas, la compréhension du problème et la pertinence de la réaction.

- Pour la communauté informatique, c'est une méthode de contrôle (contrôle réactif) qui vise à remplacer l'intelligence symbolique (qui conduit au raisonnement cognitif) par une intelligence du comportement<sup>23</sup>.

Pour éviter toute confusion, et sans aucune prétention à vouloir changer le vocabulaire admis par la communauté SMA, nous emploierons pour ce niveau de traitement de l'information le mot réflexe plutôt que réactif. Il indique en effet que le traitement est du type stimulus-réponse, sans aucune forme de réflexion (au sens de la mobilisation de connaissances explicites) et nous conserverons le terme réactif pour qualifier le comportement.

Ce traitement réflexe s'appuie sur des connaissances qualifiées d'intégrées. Parfaitement maîtrisées, elles ont permis la constitution de "routines" qui permettent de donner une réponse rapide, pertinente, et cohérente à des événements connus et généralement routiniers. Une fois parfaitement intégrées, ces décisions pourront être rappelées si l'agent perçoit le même événement.

Ce mode peut aussi s'appuyer sur l'utilisation de règles ou procédures parfaitement formalisées par l'entreprise : par exemple la description précise d'une série d'actions à réaliser en cas d'apparition d'une alarme. Ce mode de fonctionnement est assimilé à un mode câblé ou programmé composé d'un arc perception-exploitation-exécution. Il n'y a, à ce niveau, aucune interprétation des événements.

### 3.2.2 Niveau cognitif

Le second niveau de traitement que nous appellerons raisonnement cognitif, permet d'élaborer une réponse à des situations, des événements non parfaitement maîtrisés par l'agent ou

---

<sup>23</sup> Le *reactive control* était d'ailleurs à l'origine appelé le *behavior-based-control*. Il constitue d'après ses partisans une approche fonctionnelle de l'intelligence basée sur la recherche d'une dynamique entre l'agent et l'environnement (interaction), par opposition à l'approche anthropomorphique de l'intelligence qui fait elle référence à l'homme (exemple du test de Turing). Surtout utilisé dans le cadre de déplacement de robots, plutôt que de chercher le raisonnement qui conduit au but, ce principe s'appuie sur la recherche des comportements que le robot devra suivre pour y parvenir (voir [Brooks, 86]). On s'intéresse alors seulement au comportement de l'agent (le robot par exemple), pas à la façon dont ce comportement est généré. On suppose que ce comportement est issu d'un traitement du type stimulus-réponse, ce que la communauté SMA a désigné sous le terme d'agent réactif. (voir [Beslon, 95]).

l'organisation. Le traitement de la situation n'étant pas connu, il faudra l'élaborer, le valider ou le remettre en cause. Ce découpage dichotomique réactif/cognitif introduit dans le modèle ne possède pas en réalité de frontière tangible et comme le précise J Ferber, le niveau de raisonnement (il faudrait sans doute dire ici le traitement informationnel) se situe sur une droite continue, allant du niveau purement réactif au niveau purement cognitif [Ferber, 95].

Le niveau cognitif s'appuie sur un mode de raisonnement élaboré, qui fait appel de manière explicite aux connaissances et aux objectifs poursuivis par l'agent. La décision résultera des compétences de l'agent, c'est-à-dire à la fois de son savoir, de son pouvoir, et de son vouloir et mettra en oeuvre des processus plus ou moins maîtrisés.

### **3.2.3 Couplage des traitements**

D'un point de vue modélisation, l'agent possède donc deux niveaux de traitement d'une situation. Se pose alors le problème de leur interfaçage et du passage de l'un à l'autre : quand et comment choisir le niveau approprié de traitement (réflexe ou cognitif) ?

Ce problème fait, nous l'avons vu, l'objet de nombreuses recherches en IAD. La majorité des agents hybrides existant se décomposent en différents modules ou couches, et utilisent un module spécifique qui contrôle l'activation des autres modules.

D'un point de vue opérationnel, le principe d'efficacité et de dépense minimum incite à utiliser, autant se faire que peut, les niveaux les plus bas. La mise en oeuvre des processus cognitifs est en effet consommatrice de temps et d'énergie. Il paraît donc inutile d'utiliser ces hauts niveaux de raisonnement lorsque la réponse est connue. Mais, par principe, un système purement réflexe n'est pas en mesure d'évaluer les résultats de son action car il ne possède pas de représentation du monde extérieur (capacité conative) et n'est donc pas en mesure de remettre en cause les résultats de son action.

D'autre part, un système purement réflexe répond à des événements, il ne mémorise pas et ne sait pas interpréter (traitement subsymbolique de l'information). Son action se limite à des événements déjà connus, dont la réponse a été préprogrammée (paradigme du contrôle). Il souffre ainsi d'un manque de flexibilité intrinsèque qui l'empêche de gérer dynamiquement son environnement (changement de buts, modification du contexte, etc.)

Le passage du niveau réflexe au niveau cognitif peut se faire dans le sens ascendant ; lorsque la situation n'est pas connue ou mal identifiée, et n'a donc pas été programmée, son traitement par le niveau réflexe n'est pas possible. Il peut se faire aussi de manière descendante, le niveau cognitif agissant alors comme une sorte de superviseur du niveau réflexe, afin d'évaluer la pertinence des choix programmés :

- soit pour renforcer les procédures (apprentissage à l'intérieur des règles ou *simple loop*),
- soit pour les remettre en cause par expérimentations de nouvelles procédures ce qui représente un apprentissage sur les règles.

### 3.2.4 Connaissances, compétences

La réalisation d'une activité, dans une entreprise, met en jeu de nombreux paramètres autres que ses conditions externes. Le modèle de type boîte noire qui consiste à considérer l'activité comme une fonction ne permet pas de représenter la diversité et la complexité mise en oeuvre dans son pilotage. La structure interne du système de décision et d'action comporte des connaissances de différents niveaux et de différentes natures, que l'agent utilise et enrichit. Cette connaissance porte sur différents domaines, avec par exemple [Neubert et Campagne, 97] :

- des connaissances métier : connaissances techniques, niveau de maîtrise de ces connaissances, connaissances interdisciplinaires, etc.
- des connaissances entreprise : procédures élaborées par l'entreprise pour la conduite d'une activité, consignes à suivre, normes, routines, etc.

Ces connaissances permettent de garantir une certaine pérennité, certains invariants dans la réalisation des activités et donc dans leur résultat. Elles encadrent le pilotage des activités de manière à garantir un résultat de qualité. Les agents doivent ainsi se conformer aux règles et procédures de l'entreprise qu'ils pourront modifier, améliorer par un effet de rétroaction.

- Des connaissances sociales : connaissances par l'agent du milieu dans lequel il évolue, création de relations de travail privilégiées, intégration relationnelle dans une équipe, nature de l'autorité, etc.

La réalisation d'une activité dépend aussi des compétences (ici au sens de pouvoir) de l'agent qui la pilote, c'est-à-dire du niveau de responsabilité et de délégation qu'il possède dans l'organisation :

- niveau de prise de décision en cas d'aléa : l'agent a-t-il la compétence pour prendre des initiatives ou doit-il seulement se conformer à des prescriptions ?
- activité de support : l'agent peut-il par exemple engager des maintenances de premier niveau ?
- degrés de liberté dans le choix des options : l'agent a-t-il le pouvoir de choisir parmi des options ou doit-il en référer à la compétence d'un autre agent ?
- etc.

La combinaison de tous ces paramètres conduit chaque acteur du système à construire son propre cadre de pilotage de l'activité. Ce dernier s'appuie sur l'ensemble des connaissances décrites précédemment, avec différents niveaux d'intégration, et résulte d'un compromis entre les différents objectifs que poursuit l'agent :

- ceux que lui a fixés l'entreprise, relatifs au résultat de son activité ou de ses interactions,
- ses objectifs personnels dans l'entreprise, désir de promotion, de changer de service ou de fonction, volonté de se spécialiser dans un domaine plutôt qu'un autre, etc.,
- ses objectifs privés (ou de vie privée).

### **3.3 Comportement : réactif et proactif**

Avec le traitement de l'information, relatif aux aspects internes de l'agent, à la manière dont il fonctionne, le deuxième point à considérer concerne l'action engagée par un agent, suite au traitement d'une situation. Nous avons défini deux types de comportement face à une situation donnée : un comportement réactif et un comportement proactif.

### 3.3.1 Comportement réactif

Nous définirons le comportement réactif comme une action d'adaptation du système à des événements, ou des situations, ou des états, dont le but est de réguler le système pour le faire fonctionner. Nous soulignons encore une fois le fait que le comportement doit être distingué du mode de traitement qui l'a engendré.

Ce comportement réactif peut être généré par le niveau de traitement réflexe. Dans ce cas, la réaction aura été prédéfinie par le concepteur, par l'organisation ou fera partie intégrante du traitement réflexe.

Ce comportement réactif peut aussi être généré par le niveau de raisonnement cognitif. Dans le cas où la situation à laquelle doit faire face l'agent dans la réalisation de son activité n'est pas parfaitement maîtrisée, l'agent devra la traiter en faisant appel à un raisonnement cognitif. Il mettra en oeuvre l'ensemble des connaissances, des savoir-faire, des relations, des procédures, etc., qui sont à sa disposition pour traiter la situation. Si le résultat de ce traitement entraîne uniquement une réaction, une adaptation à la situation, le comportement de l'agent sera qualifié de réactif : il produit une régulation du système pour l'adapter, l'ajuster à une situation donnée.

### 3.3.2 Comportement proactif

Le but du comportement proactif n'est plus cette fois une adaptation en temps réel du système à une situation nouvelle, mais se situe plutôt sur le moyen ou long terme. Le comportement proactif dont l'objectif est d'améliorer le fonctionnement à venir du système ne peut résulter que d'un niveau cognitif de traitement de l'information (figure 5.4). En effet, il s'appuie sur une vision prospective et donc sur un modèle symbolique de l'environnement, un système de mémorisation lui permettant d'analyser, de planifier, de prévoir, etc. Ce comportement est plus particulièrement défini par les deux aspects de la proaction :

- **anticiper** : dans ce cas, l'agent élabore une réponse, une action de manière à modifier le comportement du système pour lui éviter d'aller vers des ruptures de son fonctionnement nominal. Ce point concerne la reconnaissance de situations ou de conditions de dégradation et l'anticipation de situations à risque, c'est-à-dire la

recherche de conjonctures pouvant conduire vers des situations critiques [Lee, 95][Rezg, 96].

- **capitaliser** : il s'agit de mémoriser et de capitaliser l'expérience acquise pour améliorer le fonctionnement du système (amélioration des connaissances des agents, reconnaissance de situations déjà évaluées, etc.)

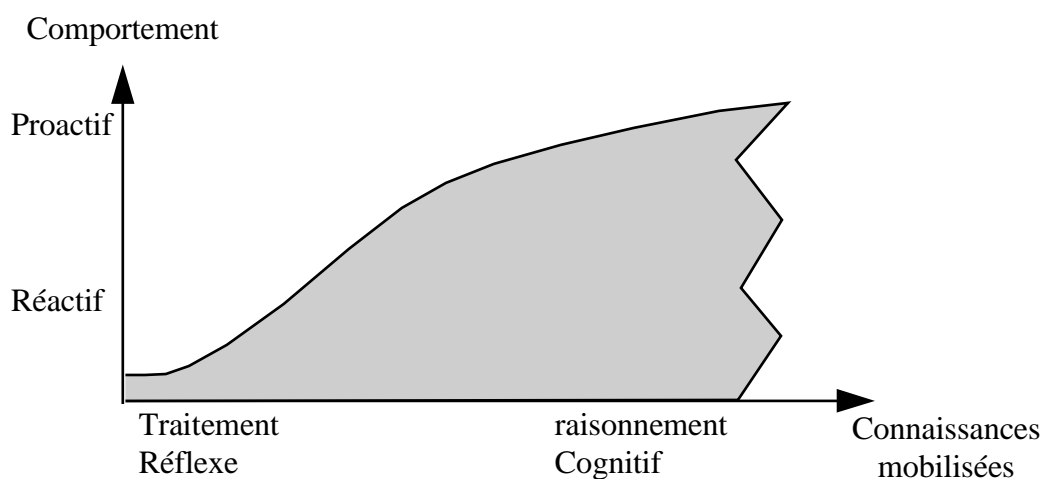


figure 5.4. Traitement et comportement

### 3.4 Insertion de l'agent dans l'organisation

L'entreprise est une organisation, l'agent n'agit pas seul. Pour replacer la définition de l'organisation dans le contexte de la modélisation multi-agents, nous entendons par organisation, une structure ou une procédure (dualité de l'organisation état ou processus) conçue (l'organisation est un artefact) avec l'objectif (l'organisation est finalisée) d'assurer la division et la coordination des actions et des décisions d'agents donnés (agent pris ici comme une entité virtuelle susceptible de représenter un individu, un groupe, etc.). En ce sens, elle est le siège d'interactions entre des agents dont elle aura préalablement défini le rôle (division du travail et distribution des compétences).

L'ensemble des activités identifiées du système concourent à l'atteinte des objectifs globaux, décrivant ainsi l'organisation, non pas de façon fonctionnelle à travers un organigramme, mais à travers l'enchaînement des activités qui engendrent de la valeur.

Les travaux menés à l'Ecole des Mines de St Etienne sur un modèle proche de celui que nous proposons, précisent en s'appuyant sur l'Analyse Modulaire des Systèmes (AMS), que les

activités peuvent être regroupées en *chaînes d'activités* participant à un processus opérationnel. Ces *processus opérationnels* peuvent être vus comme une entité d'autorité supérieure (exemple du chef d'atelier dans une structure hiérarchisée) ou comme une structure abstraite de prise de décision collective. Ils sont orientés par des rationalités de niveau supérieur représentées par des *agents cognitifs de méta-niveau* et peuvent être regroupés pour former des *processus stratégiques ou projets*, eux même pilotés par des *agents cognitifs de méta-méta-niveau*. La filiation des rationalités le long d'un tel système forme dans ce cas une *chaîne de rationalité* orientant la décision aux différents niveaux [Burlat, 96][Ouzrout, 96].

Pour notre part, chaque agent se voit attribuer la réalisation d'une activité dans le système. Il dispose pour cela de ressources, limitées, qui constituent à la fois des contraintes et des degrés de liberté. Sa mission principale consiste à organiser les ressources dont il dispose pour réaliser son activité de manière à satisfaire les objectifs qui lui ont été assignés.

Les agents du système sont liés entre eux et à l'organisation par des contrats<sup>24</sup> qui précisent :

- La mission de l'agent, c'est-à-dire l'ensemble des objectifs qui lui sont assignés, relatifs à son activité ou à ses interactions.
- Les ressources dont il dispose pour mener à bien sa mission, ses ressources pouvant être dédiées ou partagées.
- Le contexte (l'environnement) caractérisant l'ensemble des hypothèses retenues lors de l'élaboration de la mission et de l'organisation des ressources.
- Les engagements réciproques (avec les autres agents du système).

Cette organisation n'est pas statique et les interactions entre agents sont faites de processus de coordination, de coopération, de supervision, d'assignation des rôles, etc. Elles sont en elles-mêmes un processus organisateur. La cohérence de l'ensemble repose sur ces mécanismes d'interaction que l'on peut alors considérer comme l'une des composantes nécessaires de l'entreprise proactive.

---

<sup>24</sup> le mot contrat est ici à prendre au sens d'une convention entre les membres d'une organisation (accord de plusieurs agents portant sur des faits précis), c'est à dire au sens de arrangement, compromis, engagement, entente, etc..



La cohérence de l'organisation repose sur la définition des divers agents et d'un nombre limité de moyens d'interactions explicites, ce que G. Morgan appelle la spécification critique minimale [Morgan, 89], qui garantit d'une part la cohérence de l'ensemble, mais aussi qui permet une certaine auto-organisation nécessaire à la dynamique de l'entreprise (figure 5.5).

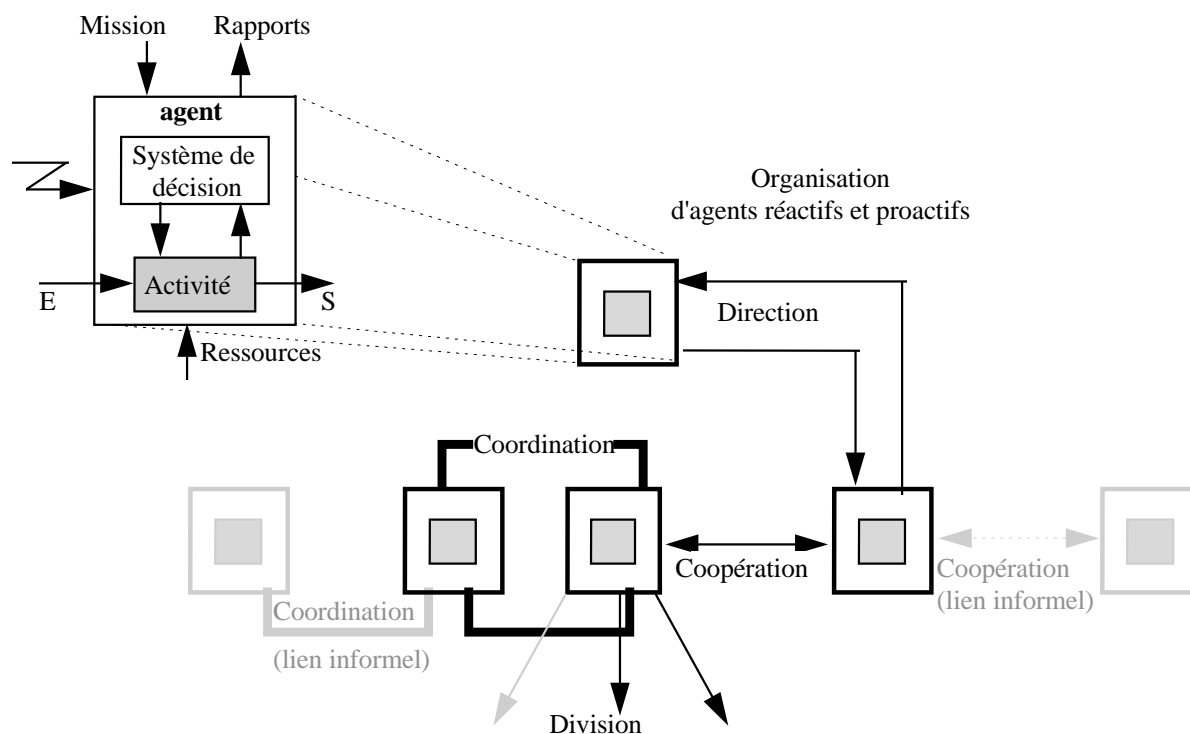


figure 5.5. Agents et organisation proactive

L'organisation, ou plutôt le mode d'organisation est un préalable à la proactivité globale. En effet, si le schéma est fixé, cloisonné dès le départ et reste figé, le système est incapable de s'adapter aux changements ou de les anticiper. Cette organisation doit assurer la cohérence de l'ensemble et favoriser les capacités d'anticipation et d'amélioration des connaissances. Elle doit s'appuyer sur la notion de délégation, donc de mission à remplir, et sur la décentralisation des compétences au plus près de l'activité.

L'agent s'inscrit ainsi dans ce que nous avons défini comme une "organisation apprenante", c'est-à-dire une organisation qui ne se contente pas de prescrire des tâches à des agents "qualifiés" (spécialisation fixée de façon définitive, par exemple l'OS sur une chaîne de montage Renault dans les années 50-60), mais qui est au contraire capable d'évoluer en fonction de ce que les agents apprennent (apprentissage organisationnel).

## **4. Agent et organisation : les commandements de la proactivité.**

Si nous avons défini jusqu'ici les principes sur lesquels reposent la réactivité et la proactivité d'un agent ou d'une organisation, nous n'avons pas encore défini de méthodes, ou de principes d'évaluation de la proactivité d'un système. Ce point est sans doute délicat, car si comprendre la proactivité ne pose maintenant pas trop de problème, sa mesure est par contre beaucoup plus difficile, ce qui nous a conduit à proposer un ensemble de principes relatifs à la proactivité et à sa mise en oeuvre : les commandements.

### **4.1 Evaluation de la proactivité**

Les deux critères qui représentent les fondements de la proactivité, anticipation et capitalisation sont délicats à évaluer.

#### **4.1.1 Evaluation de la capacité d'anticipation**

Le problème de l'anticipation se heurte à celui de son coût, c'est-à-dire à l'efficacité des solutions mises en place par rapport aux éventuelles conséquences. Pour anticiper, un système doit, nous l'avons vu, posséder un certain degré de flexibilité, afin de réorganiser les ressources. Ceci suppose l'existence de ressources disponibles pour prévenir les aléas et introduit un coût parfois difficile à évaluer.

S'il n'est pas toujours facile de mesurer les effets d'un aléas (qui peuvent être plus ou moins importants) il n'est pas toujours facile non plus de mesurer les effets (parfois catastrophiques) d'une tentative d'anticipation de ces aléas et donc d'évaluer les gains ou les pertes générés par l'anticipation, ni de mesurer ceux résultant d'un non-anticipation (voir encadré 5.1).

Dans les cas les plus simples, on pourra cependant évaluer, à partir d'un référentiel défini *a priori* si, dans des situations comparables, le système réagit plus ou moins bien aux situations à risque, voire aux aléas. On pourrait par exemple, dans le cadre de simulations utilisant des systèmes multi-agents (pour peu que les outils de l'IAD soient suffisamment évolués), évaluer l'importance d'un paramètre, d'une connaissance ou d'une modification du contexte sur la capacité du système à anticiper. On pourrait aussi tenter d'évaluer les coûts de non anticipation par rapport à ceux d'une anticipation.

encadré 5.1. Anticipation : des (non) mesures et des résultats.

Il faut anticiper :

"**Si l'on ne prend aucune mesure** (*NDLR : c'est moi qui souligne*), les avions de lignes subiront un accident grave par semaine d'ici à quinze ans. Coupables : les "facteurs humains". Non plus les défaillances du pilote, mais les erreurs d'interprétation suscitées par des technologies de plus en plus performantes..." *Science & Vie n°945, Juin 1996 p 174.*

Des anticipations aux conséquences parfois non mesurables

"Le 26 avril 1986 : le réacteur n°4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl explose. Dans la nuit du 25 au 26 Avril 1986, des essais sont en cours dans le réacteur n°4 de la centrale de Tchernobyl.... Il fallait vérifier si en l'absence d'électricité, l'énergie cinétique des groupes d'alternateurs suffirait à faire redémarrer la centrale et à la rebrancher sur le réseau (*NDLR : anticipation d'un aléa potentiel*). Quoi qu'il en soit, le personnel, au mépris des règlements, a mis hors circuit plusieurs systèmes de sécurité et retiré les barres de contrôle du réacteur." *Science & Vie n°943, Avril 1996 p74*

Des non anticipations aux conséquences parfois retentissantes :

"H+37 secondes, Ariane 5 bascule provoquant la dislocation de sa structure. Le fiasco, le 4 juin 1996 du lancement de la nouvelle fusée Ariane 5... On annonçait une fiabilité de 98.5%, bien supérieure à celle d'Ariane 4...le doute n'avait même pas été permis, tant Ariane 5 avait fait l'objet d'études et de simulations... Mais si l'on en croit les premières constatations, la difficulté a surgi là où on ne l'attendait pas, dans l'informatique de vol. **Problème inattendu car ce dispositif peut être complètement étudié au sol et faire l'objet de simulations en grandeur nature** (*NDLR : c'est moi qui souligne*). Pourtant, le fait est là : le logiciel de pilotage présentait un défaut. Sévère leçon pour ceux qui l'on conçu et testé. Espérons qu'elle conduira les "pères" d'Ariane 5 à une salutaire modestie. En ce sens, le terrible échec du 4 juin n'aura pas été inutile." *Science & Vie n° 946, Juillet 1996, p1*

#### 4.1.2 Evaluation de la capacité d'apprentissage

Le problème de l'évaluation de l'apprentissage est, nous semble-t-il encore plus délicat. Il ne s'agit pas ici d'évaluer comment l'agent (ou l'organisation) évolue vers un état (de connaissance) qui serait prédéfini (comme par exemple l'apprentissage d'un savoir ou d'un savoir faire par un individu pour lequel on connaît généralement le point d'arrivée, ce qui permet l'évaluation). L'apprentissage doit ici être vu comme une trajectoire permettant d'expliquer la dynamique du système de production, non pas comme une trajectoire permettant d'atteindre une cible prédéfinie.

Deux questions soulignent encore ce problème :

- Comment évaluer un apprentissage qui permet de rester aussi performant alors que le contexte change (et que, sous entendu, si on n'avait pas appris on aurait été moins performant)?
- Comment évaluer l'apport de réponses innovantes (mesure de l'amélioration d'une performance et de son coût par rapport à un but non explicitement défini)?

#### **4.1.3 De l'évaluation à la recommandation**

L'approche proposée pour évaluer la proactivité d'un système se pose donc moins en termes de mesure que de préceptes à suivre pour l'amélioration future du système.

Nous avons choisi de présenter la démarche proactive grâce à un ensemble de commandements qui, à l'instar des règles de la méthode OPT (voir par exemple [Goldratt et Cox, 86]), constituent un guide pour la démarche. Ils sont construits de façon arborescente d'après le cycle de la proaction (avant, après, voir la noria de la proaction chapitre 3) et sont explicités sous la forme d'un verbe d'action, traduisant leur caractère comportemental.

Dans un souci de cohérence, nous avons observé une relative similarité entre les commandements de la proactivité relatifs à l'agent et ceux relatifs à l'organisation. Ils portent cependant sur les attributs propres à chaque entité.

### **4.2 Les commandements de l'organisation proactive**

Les commandements de l'organisation portent sur les différents éléments la caractérisent, à savoir la division du travail, la distribution des rôles et les interactions entre agents.

#### **4.2.1 Anticiper**

Les commandements relatifs à la phase "anticiper" sont les suivants :

- organiser les ressources,
- distribuer les compétences.

Avant l'aléa, une organisation proactive doit mettre en place les éléments nécessaires au support de la proactivité des agents et impulser ce comportement en distribuant le processus décisionnel.

1. Définir un cadre de fonctionnement nominal pour chaque agent (problème qui est en soi très complexe, et qui ne peut se faire qu'au cas par cas. Nous développons un exemple au chapitre 7, dans l'application industrielle que nous avons réalisée), qui se fait en fonction d'hypothèses de travail, de l'expérience de l'entreprise, de données statistiques, de prévisions d'évolution, etc. Il s'agit ensuite de déterminer une organisation des ressources qui permettra de satisfaire au mieux les objectifs de l'entreprise.
2. Instaurer un cadre de gestion réactif et proactif en distribuant aux agents les compétences requises (démarche d'investissement dans les ressources humaines) :
  - Sensibiliser les agents aux indices, causes et effets des aléas par rapport aux objectifs qu'ils poursuivent, et à la démarche proactive.
  - Décentraliser les décisions en donnant aux agents une compétence reconnue pour réagir, pallier ou corriger l'aléa.
  - Encourager la prise d'initiative face aux situations à risque et responsabiliser les agents
3. Etablir avec les différents agents une relation basée sur la notion de contrat :
  - Définir la mission, les objectifs et le contexte dans lequel s'effectue le pilotage de l'activité.
  - Accorder la flexibilité potentielle nécessaire à toute adaptation.
  - Fournir le système d'information nécessaire à la reconnaissance de toute dérive hors du fonctionnement nominal.

### **4.2.2 Capitaliser**

Après l'apparition d'un aléa, ou le traitement d'une situation à risque, une organisation proactive se manifeste par une capitalisation des connaissances relatives à ce traitement. La capitalisation, dans le cadre organisationnel, peut être vue sous différentes formes :

1. Mettre à jour les procédures internes : il s'agit de mémoriser les données relatives à la situation et au traitement apporté, ou de purger les routines obsolètes.
2. Initier ou formaliser de nouvelles interactions : l'interprétation et la résolution collective de problèmes permettent, grâce à une approche multivues des problèmes, de mieux comprendre leur apparition et leur résolution. Il s'agit donc de créer de nouvelles synergies

internes permettant d'atteindre de nouvelles performances, de constituer une mémoire collective et synthétique des situations. Ce que nous avons appelé, au chapitre 1, une adaptation des modèles *in use*.

3. Exploiter cette mémoire collective afin de redistribuer les connaissances et le savoir faire (retour vers les agents).
4. Comprendre l'environnement afin de mieux adapter l'organisation dès les premiers signes extérieurs.

Outre la question de la proactivité qui nous intéresse ici, la capitalisation des connaissances est un point important de la pérennité des entreprises. Elle permet d'une part de mémoriser les compétences oubliées soit parce que ceux qui les détenaient ne font plus partie de l'entreprise (voir par exemple les difficultés de certains constructeurs automobiles devant la perte de savoir faire liée à des départs massifs à la retraite), soit parce que ce savoir faire n'a pas été mis en oeuvre depuis longtemps.

### **4.2.3 Avant, pendant, après : apprendre**

La notion d'apprentissage dépasse celle de capitalisation des connaissances et il faut souligner ici l'importance des adaptations organisationnelles à adopter afin de transformer des situations locales en phénomène d'apprentissage.

L'apprentissage se fait à partir d'un existant, on ne part pas de rien ; les ressources pour apprendre étant limitées, notamment le temps, on ne peut pas recréer à chaque fois en partant de rien. Cet aspect doit être intégré dans les méthodes de conception et de gestion des connaissances de l'entreprise afin d'assurer une meilleure réutilisabilité des solutions, d'en faciliter l'évolution et le partage. La capitalisation permet de sauvegarder les connaissances et le savoir faire pour ne pas avoir à remettre en oeuvre un processus d'apprentissage qui a déjà été effectué.

L'organisation doit favoriser le transfert de compétences, entre les individus, entre l'individu et le groupe, entre les groupes, etc., ce qui souligne l'importance de la gestion des ressources humaines dans l'apprentissage organisationnel (tutorat, pyramide d'âge, trajectoire personnelles, etc.). L'organisation doit favoriser le transfert qui a pour ambition de faire l'économie des étapes initiales du processus d'apprentissage. Ceci permet d'utiliser des

références, des indicateurs, des méthodes et autres éléments existants, et qui présentent une proximité conceptuelle sur certains aspects avec l'objet du processus concerné.

On peut noter enfin l'antinomie existant entre d'une part le désir de renforcer des routines dans le cadre rassurant d'un apprentissage par accumulation, et celui de remettre en cause les routines ou d'en créer de nouvelles dans le cadre d'un apprentissage par expérimentation. L'organisation, dans un souci de diminuer l'incertitude, aura une tendance naturelle à vouloir renforcer des routines existantes, privilégiant ainsi les performances à court terme sur les possibilités d'amélioration à long terme.

L'innovation constitue pourtant un processus d'exploration de solutions nouvelles et un vecteur important d'amélioration de la performance et de la maîtrise des aléas. Elle se développe lorsque les situations ou les problèmes rencontrés n'ont pas de solution déterminée : soit par un déficit d'information, soit par un déficit de compétence. Elle se traduit ainsi par un apprentissage non supervisé, mettant en jeu de nombreux acteurs et fonctions (l'interaction suppléant ainsi les déficit locaux) et résultant dans une nouvelle forme d'organisation, ou de structure, ou de produit, ou de méthode, créant ainsi au niveau système (et aussi individuel), une nouvelle compétence, des nouvelles informations, réutilisables.

L'apprentissage est envisagé comme un processus cumulatif, ce qui a été appris influençant et orientant les apprentissages suivants (ce qui a été appris peut être oublié), mais aussi interactif, c'est-à-dire résultant d'une forme de compétence collective intangible. L'organisation doit donc mettre en place les structures nécessaires à la mémorisation des connaissances mais aussi à l'émergence et la formalisation de ces interprétations collectives.

### **4.3 Les commandements de l'agent proactif**

Le comportement proactif de chaque agent est relatif à la mission qu'il assure dans l'organisation. Il se distingue ici aussi suivant la phase dans laquelle il intervient, avant ou après l'aléa.

### 4.3.1 Anticiper

Il s'agit ici pour chaque agent :

1. D'organiser les ressources dont il peut disposer pour anticiper les aléas :
  - Planifier leur utilisation pour répondre à des situations futures.
  - Coopérer avec d'autres agents afin de mettre à disposition ses compétences, mais aussi de mettre à profit celles des autres.
2. D'utiliser au mieux ses compétences afin de remplir ses objectifs. La gestion des aléas et la proactivité sont définies par rapport à des objectifs caractérisés par la définition d'un fonctionnement nominal. Pour chaque agent, la gestion des aléas passe par l'assurance que ce fonctionnement nominal est respecté. Ceci repose sur trois points essentiels :
  - Surveiller l'évolution du contexte afin de vérifier que les hypothèses retenues pour l'élaboration du contrat sont toujours respectées (cause exogène).
  - Surveiller les variables internes significatives d'une dérive d'un processus interne (cause endogène).
  - Identifier les causes, endogènes ou exogènes qui pourraient conduire vers des états impropres.

Plusieurs modes de fonctionnement peuvent ainsi être distingués au niveau des agents (figure 5.6) :

1. Un fonctionnement basé sur une gestion événementielle. Les événements ont été répertoriés, classifiés, et la réponse à chaque classe d'événements a été préprogrammée. Ici ne sont pris en compte que les événements connus, sans analyse préalable de leur portée. La phase traitement/réaction se fait de manière synchrone, c'est-à-dire dans le même temps (phase directe stimulus-réponse)
2. Un mode de fonctionnement asynchrone, basé sur une première interprétation de l'événement. L'événement, de simple donnée, devient ainsi, grâce à sa contextualisation, à son insertion dans un processus d'analyse global permettant de lui donner un sens, une information sur laquelle pourra être bâti un raisonnement. Ce premier traitement permettra de constituer les différents états de l'activité de l'agent afin de reconnaître d'une part la présence d'un aléa (état de situation impropre), ou d'une situation à risque,



c'est-à-dire pouvant conduire vers un état impropre. Ce mode de fonctionnement n'est plus synchrone, le décalage entre l'événement et la réaction n'est pas seulement d'ordre temporel, il est aussi d'ordre interprétatif ; ce n'est pas l'événement qui déclenche le processus de réaction, mais la conjugaison d'un contexte, de connaissances, de rationalité, etc.

3. lors de la détection d'un aléa, deux types de traitement sont possibles pour un comportement réactif d'adaptation à la situation (on parle bien ici de situation et non pas d'événement) :
  - Si la réponse est connue, répertoriée, programmée, le niveau de traitement réflexe produira la réaction souhaitée.
  - Si la réponse n'est pas connue, la réaction sera élaborée si possible par un traitement cognitif, ou dans le cadre d'interactions.
4. lors de la détection d'une situation à risque, donc d'un aléa potentiel, l'agent doit adopter un comportement de type anticipatif pour éviter que le système n'évolue vers un état impropre (anticipation de l'aléa),
5. si l'événement n'est pas connu, sa prise en compte peut nécessiter une collaboration avec d'autres agents du système si la résolution locale est impossible.

Il est nécessaire de préciser, ce qui n'est pas explicite sur la figure 5.6 que le comportement et le raisonnement de l'agent peuvent nécessiter des interactions avec d'autres agents du système. Ce phénomène lié à l'interprétation collective d'un événement n'est mis en évidence sur la figure que lorsque le traitement local est impossible.

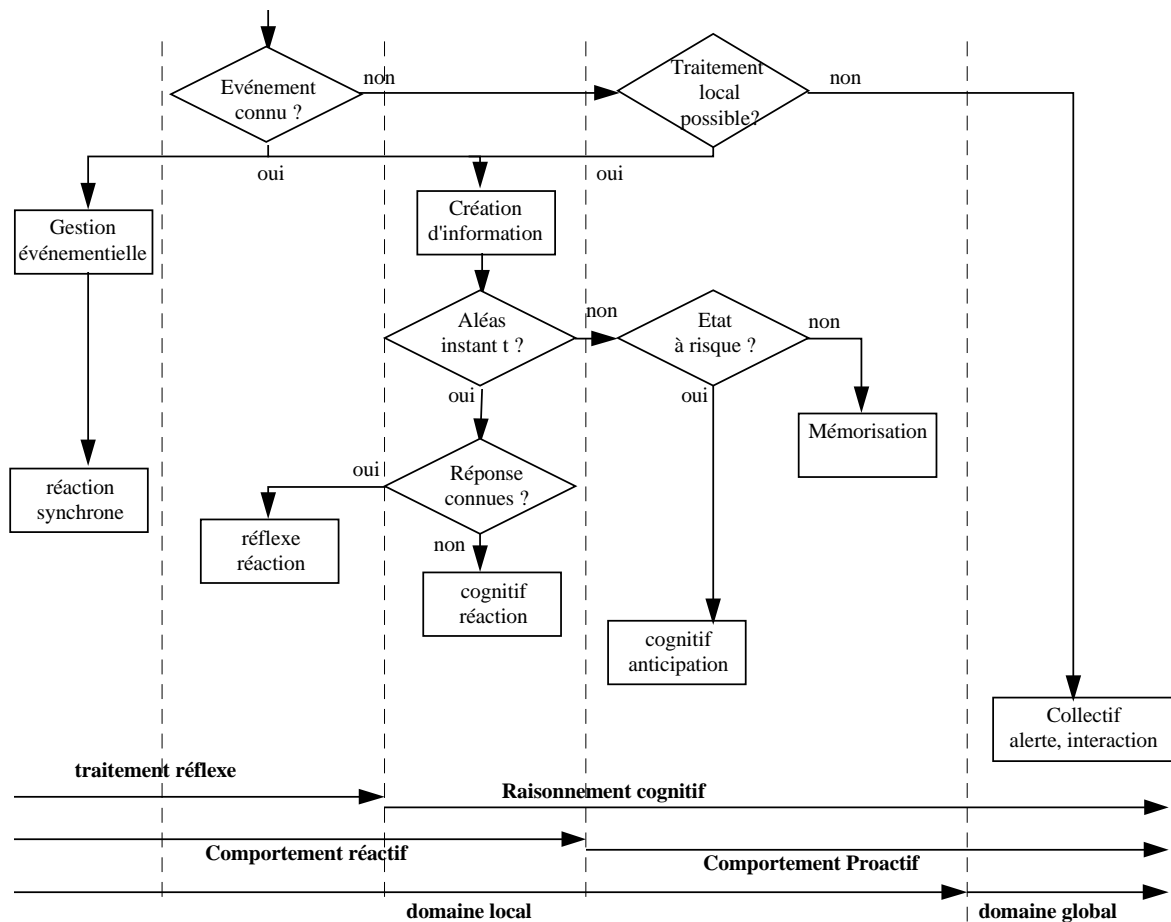


figure 5.6. Proactivité et traitement des événements

### 4.3.2 Capitaliser

L'agent devra aussi mémoriser et capitaliser les actions engagées, puis après les validations nécessaires, les apprendre, c'est-à-dire les transformer en connaissances réutilisables, pour lui même (apprentissage individuel) ou pour l'organisation (apprentissage collectif).

Après l'aléa, un agent proactif capitalisera l'expérience acquise afin de mieux répondre, ou de répondre différemment, à de possibles futurs aléas. Pour cela, il doit (figure 5.7) :

- Récolter les données relatives à l'aléa, c'est-à-dire mémoriser les situations qui ont conduit ou menacé de conduire vers des états impropres, ainsi que les décisions qui ont été prises (principe de traçabilité).
- Interpréter et valider ces données dans le temps, afin d'intégrer les savoirs, donc d'apprendre.

- Favoriser le transfert de ces connaissances vers l'organisation afin d'améliorer les routines et procédures organisationnelles.

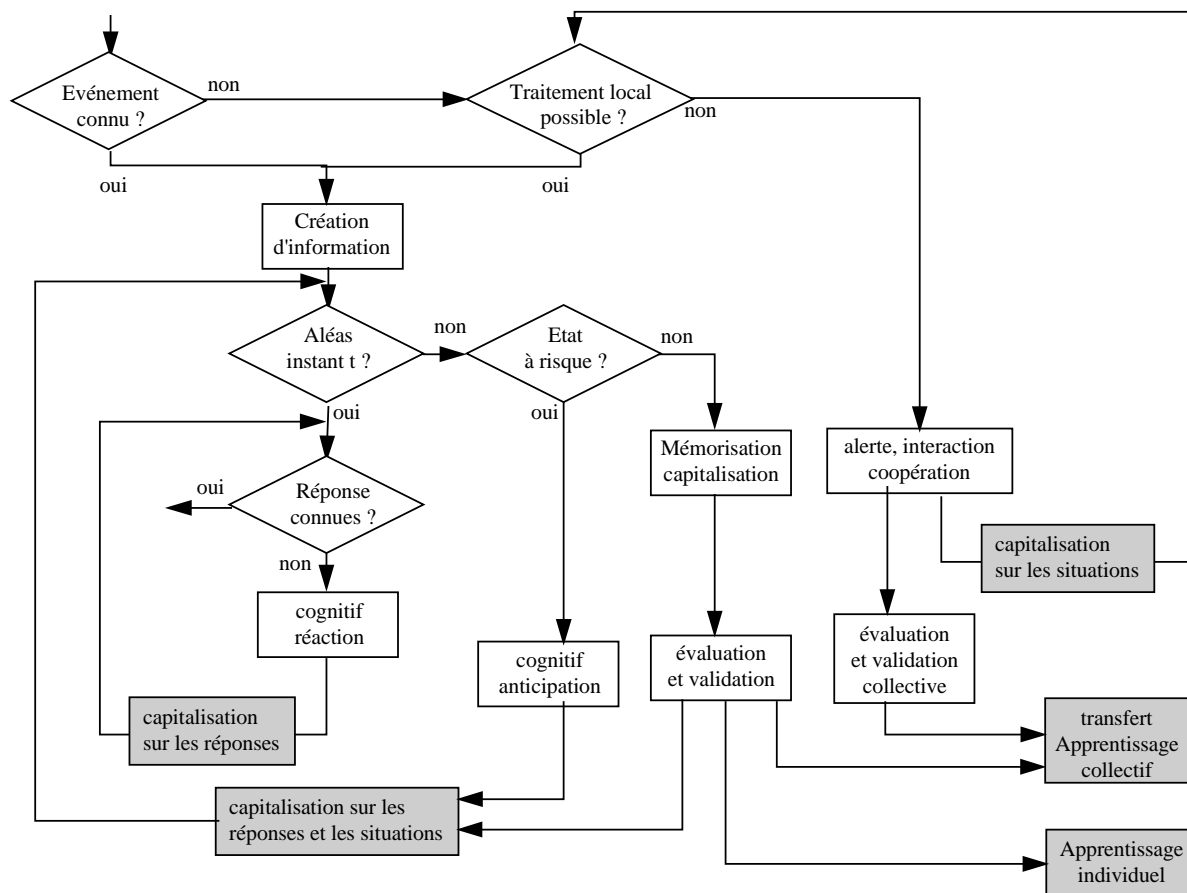


figure 5.7. Proactivité et apprentissage

### 4.3.3 Agent : conclusions

Les commandements de la proactivité appliqués à l'agent consistent à identifier et reconnaître les domaines dans lesquels il peut modifier ses représentations et ses connaissances afin de développer son savoir et son savoir faire. Nous renvoyons le lecteur aux très nombreux travaux existant sur l'apprentissage individuel ainsi qu'aux très nombreux travaux existant en Intelligence Artificielle. Nous considérons aujourd'hui que malgré les efforts et les résultats des chercheurs en IAD, le fossé séparant la réalité des techniques informatiques est encore trop important pour espérer mettre en oeuvre un système multi-agents doté de capacités d'initiative, de recherche de solutions nouvelles, d'innovation au sens où les hommes en sont capables.

Trois points permettant de caractériser un problème d'apprentissage en IA nous semblent cependant importants car ils concernent le problème de la modélisation des connaissances :

- Notion de cycle : un système d'apprentissage doit réutiliser les connaissances antérieurement apprises. Les nouvelles connaissances doivent être validées avant intégration.
- Niveaux d'abstraction : au cours de l'apprentissage, les informations manipulées sont organisées en niveaux d'abstraction croissants qu'il est important d'identifier.
- Notion d'explications : comprendre le cheminement, la démarche qui a abouti au résultat recherché, pour pouvoir réutiliser les connaissances générées au cours de l'apprentissage.

Les principaux problèmes relatifs à l'apprentissage dans les systèmes multi-agents, mais aussi à la constitution de bases de données et de connaissances en entreprise, comme support de l'action sont liés :

- A la représentation des connaissances (au sens informatique) : concepts, règles, qui conditionnent en partie le mécanisme d'apprentissage.
- A la validité et à la cohérence des connaissances apprises : validité pour d'autres problèmes, cohérence avec les connaissances déjà apprises (le noyau existant).
- A la détermination des informations importantes sur les objets (similarité, généralisation).
- Au manque d'adaptabilité des systèmes d'apprentissage à une variation de l'environnement : problème du contexte dans lequel s'est effectuée la résolution.
- Au risque d'explosion combinatoire dans la récupération des connaissances apprises dans le but de leur réutilisation : connaissances générales plutôt que spécifiques.

## 5. Conclusion

Ce dernier chapitre sur les aspects conceptuels de nos travaux nous a permis de développer un modèle de représentation partagé, qui repose sur l'association de deux principes :

- Une méthodologie de modélisation basée sur le principe de l'activité. Nous ne proposons pas l'utilisation d'une méthode particulière, car nous avons vu que d'une part le concept d'activité n'est pas le même pour toutes les communautés scientifiques, et que

d'autre part, les méthodes traditionnelles utilisées en Sciences de l'Ingénieur souffrent d'un certain nombre de rigidités issues de contingences relativement anciennes. La nécessité de prendre en compte de nouvelles réalités, comme le déroulement d'activités concourantes, la coopération et la coordination entre activités réclame la recherche de nouveaux formalismes.

- Un principe de développement informatique reposant sur l'interaction au sein d'une organisation d'agents aux capacités diverses, réactifs, cognitifs, hybrides.

Cette association nous a permis de développer un modèle Agent/Activité, dans lequel l'agent est une entité abstraite qui représente le centre de décision intelligent qui pilote l'activité (au sens où nous avons défini le pilotage au chapitre 1).

Ce modèle permet de mettre l'agent en relation avec l'organisation dont il fait partie afin de créer avec un même support une représentation globale de l'entreprise, vue à la fois à travers l'organisation et les entités qui la composent.

Nous avons alors développé ce que nous avons désigné comme les commandements de la proactivité, c'est-à-dire un ensemble de principes à mettre en oeuvre, ou à observer. Ces principes sont significatifs, pour un agent ou une organisation, d'un comportement proactif.

Ce modèle, même s'il n'est pas très détaillé et souffre d'un certain nombre de lacunes, est pertinent pour supporter un discours multivues autour de la proactivité. Il permet d'en développer une approche méthodologique offrant à chaque acteur intervenant sur le système la possibilité de compléter la démarche avec des outils plus formels ou plus familiers.

Nous ferons cet exercice en développant au chapitre 6 une instanciation méthodologique du pilotage proactif qui s'appuie sur les propositions développées autour du modèle Agent/Activité en mettant en oeuvre un outil de modélisation analytique plus formel : les Réseaux de Petri.

Le chapitre 7 développera une application industrielle des principes de gestion des aléas et de la proactivité. Il s'appuiera lui aussi sur le modèle agent/activité et montrera une approche applicative et industrielle du problème.

## **Chapitre 6 :**

# **pilotage par supervision des Systèmes à Événements Discrets**



## 1. Introduction

Les premiers chapitres nous ont permis de poser les fondements méthodologiques de la proactivité. La gestion des aléas s'appuie principalement sur la définition d'un fonctionnement nominal des activités et la mise sous contrôle de ce fonctionnement nominal. La proactivité peut alors être décomposée en deux étapes distinctes :

- avant l'aléa : il s'agit de détecter les situations à risque avant qu'elles ne conduisent vers des états impropres,
- après l'aléa : il s'agit alors de capitaliser l'expérience acquise afin de mieux gérer les situations futures.

Notre argumentation s'est alors développée autour d'une représentation décentralisée du système de production, basée sur le comportement d'agents semi-autonomes dans le pilotage de leur activité. Ces agents peuvent posséder deux types de traitement de l'information, l'un que l'on peut caractériser d'événementiel, reposant sur une réponse temps réel synchrone aux événements, l'autre s'appuyant sur une interprétation et une contextualisation de ces événements et fournissant ainsi une réponse plus à une situation qu'à un événement.

Nous allons développer dans ce chapitre, en référence aux travaux sur la commande par supervision, une architecture de pilotage par supervision des systèmes de production considérés comme des Systèmes à Événements Discrets (SED). Elle repose sur les principes énoncés précédemment du pilotage réactif et proactif, bien que ce chapitre ne mette pas en évidence le côté apprentissage de la proaction, et ne concerne que l'anticipation des aléas par détection de situations à risque.

Nous présenterons deux cas applicatifs, l'un fonctionnant par ajustement des règles du niveau réactif par le niveau proactif (adaptation par ajustement), l'autre fonctionnant par inhibition du niveau réactif par le niveau proactif (subsomption).



## 2. Architecture d'un pilotage par supervision réactif et proactif

### 2.1 De la commande par supervision des SED...

La théorie de la commande par supervision a été initiée par les travaux de J.G. Ramadge et W.M. Wonham [Ramadge et Wonham, 87] [Ramadge et Wonham, 88] et s'intéresse au problème de la commande par supervision d'un point de vue qualitatif. Elle repose sur le principe cybernétique du contrôle en boucle fermée, avec une dichotomie semblable aux modèles utilisés par les automaticiens :

- Fonctionnement en boucle ouverte qui modélise le fonctionnement du procédé libre de toute contrainte de commande (comportement autonome).
- Fonctionnement en boucle fermée qui formalise les contraintes de spécifications opérationnelles dites de conduite.

Le principal avantage de cette approche est la séparation du fonctionnement du système de ses spécifications. En d'autres termes c'est la séparation du fonctionnement en boucle ouverte, modélisant le fonctionnement du procédé, de la commande en boucle fermée caractérisant l'aspect réactif d'un système de production, c'est-à-dire l'adaptation de sa commande en fonction des événements provenant du système et des spécifications de conduite (figure 6.1). La commande par supervision introduit ainsi une restriction de l'ensemble des états accessibles par le SED (fonctionnement autonome en boucle ouverte).

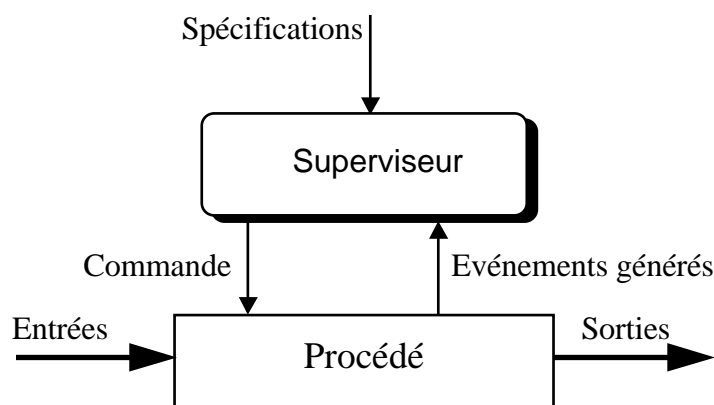


figure 6.1. Principe de la commande par supervision

Dans le domaine de la commande par supervision des Systèmes à Événements Discrets, la réactivité se caractérise par la définition et l'intégration des contraintes organisationnelles et dysfonctionnelles du système de production, et de leur respect au cours de son exploitation. En ce sens, la commande par supervision des SED sera réactive si elle permet de donner une solution admissible suite à l'occurrence d'un événement, dans un délai convenable tout en respectant les spécifications données par le niveau supérieur.

## 2.2 ...Au pilotage par supervision des SED

La complexité croissante des systèmes de production nous a conduit à proposer une évolution vers des structures décentralisées et hiérarchisées de pilotage. Le pilotage doit ainsi faire face à de nombreuses sollicitations, autant internes qu'externes. Par rapport à un fonctionnement nominal décrit de manière idéale, de nombreux aléas surviennent au cours du temps, et viennent le plus souvent perturber le fonctionnement des unités de production : panne machine, défaut matière, arrivée d'une commande urgente, absence d'un opérateur, etc. De plus, les objectifs assignés au système de production peuvent évoluer dans le temps : favoriser l'équilibrage des postes ou surcharger telle machine parce que telle autre présente un défaut, favoriser les délais plutôt que la qualité, ou les coûts plutôt que les délais, etc.

La complexité ainsi introduite et la nécessité d'une adaptation quasi permanente interdisent de se placer dans le cadre d'une commande rigide. Les systèmes de supervision doivent avoir une faculté d'adaptation, de recherche de solutions nouvelles, d'innovation, leur permettant de modifier leurs règles et leur système de commande en fonction des objectifs qu'ils poursuivent et de la détection de conditions de dégradation. La performance du système devient dynamique : elle évolue en fonction du choix des objectifs et du contexte environnant. La commande par supervision s'enrichit ainsi d'un modèle dynamique dont les buts sont :

- l'anticipation de situations à risque,
- la modification des règles de fonctionnement et des consignes du niveau supervision réactif afin de les adapter de manière dynamique à la situation, en fonction du contexte, ou d'un changement d'objectif.

Ainsi, nous proposons d'ajouter un niveau à la commande par supervision pour définir une architecture de pilotage par supervision proactif et réactif à deux niveaux (figure 6.2) [Neubert *et al*, 97][Rezg *et al*, 97a][Rezg *et al*, 97b] :

- Un niveau réactif : il assure les fonctionnalités communément affectées à un système de commande par supervision.
- Un niveau proactif : il assure une supervision "intelligente" du niveau réactif afin d'adapter ses spécifications, donc ses règles de commande, aux changements de l'environnement (interne ou externe)

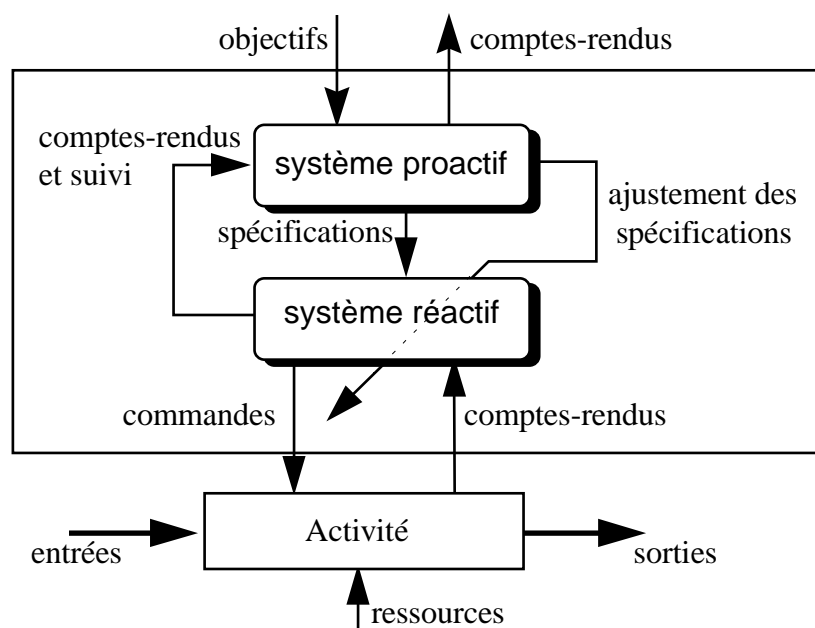


figure 6.2. Une architecture de pilotage par supervision proactif à deux niveaux

Cette architecture est conforme à l'architecture de pilotage réactif et proactif que nous avons développée dans le chapitre 2 : le système réactif applique une commande sur l'activité en fonction des événements qu'il reçoit et des spécifications qu'il suit (jeu de règles fixé par le niveau proactif). Le système proactif permet d'ajuster le jeu de règles de fonctionnement utilisé par le système réactif en fonction de la situation de l'activité (connue à partir du suivi) ou d'une modification des objectifs.

### 2.3 Vers des modèles formels

La représentation agent proposée dans les chapitres 4 et 5 nous a permis de développer une argumentation pour la compréhension du problème et sa formalisation. Il est possible d'utiliser cette représentation pour présenter le pilotage par supervision proactif.

Le système de production peut être modélisé par un ensemble d'agents réactifs en interaction, chaque agent représentant par exemple une station de travail et son équipement de contrôle-commande. Le superviseur peut être représenté par un agent hybride à deux niveaux de traitement de l'information, un niveau réflexe produisant une commande synchrone, et un niveau cognitif, reposant sur un historique de fonctionnement et un modèle du procédé supervisé lui permettant d'avoir un comportement proactif d'évitement des situations à risque (figure 6.3).

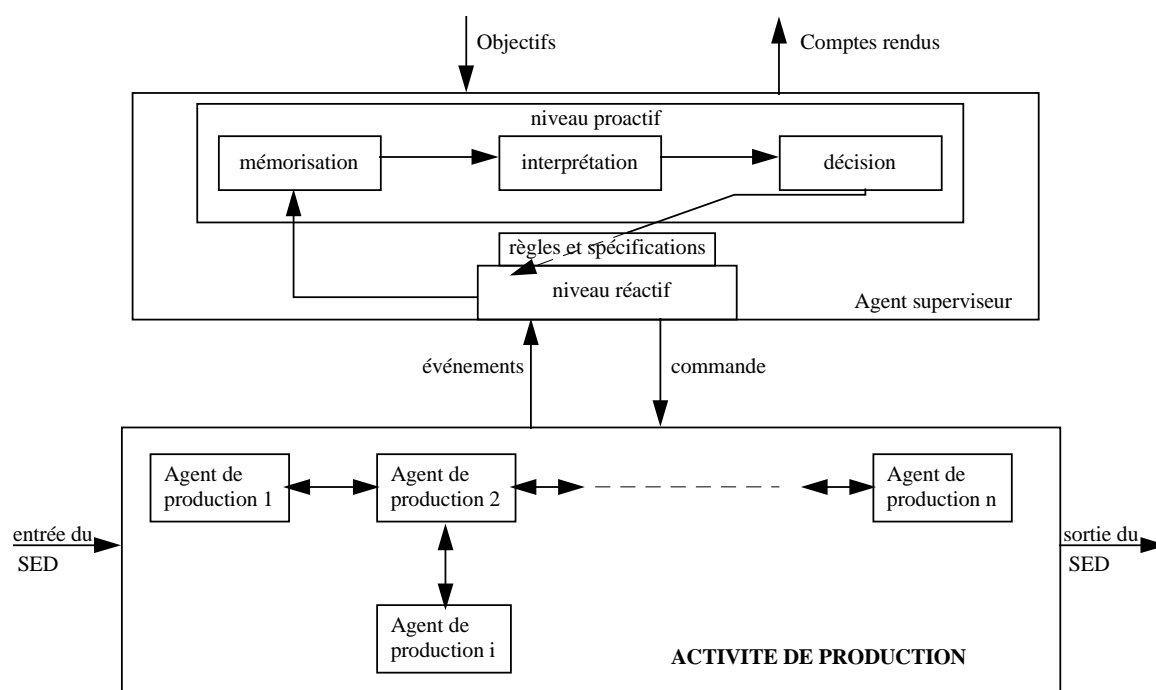


figure 6.3. Une représentation agent (simplifiée) du pilotage par supervision

Le niveau que nous appellerons proactif (raisonnement sur un historique pour un comportement proactif) se décompose ainsi en :

- Un système de mémorisation. Il permet d'une part, de garder une trace des événements afin de tenir compte de l'évolution du système dans le temps et d'autre part d'enregistrer ces évolutions (contextualisation des événements).
- Un système d'interprétation qui permet de décoder dans le système de mémorisation les informations (et non les événements) qui nécessiteront une adaptation du pilotage.
- Un système de décision chargé de choisir le traitement approprié à l'interprétation de la situation. On notera que toutes les situations ne peuvent pas être résolues à ressources

constantes et que certaines nécessitent une réorganisation des ressources (augmentation des ressources de l'activité supervisée, ici le SED), ou une coopération avec un autre agent (coopération avec un autre SED supervisé). Dans la suite, nous raisonnerons à ressources fixées et nous nous intéresserons à l'ajustement ou la modification des spécifications de conduite d'un SED donné.

Cette représentation Agent ne nous permet cependant pas de développer plus précisément la méthode mise en oeuvre. Pour cela, nous passerons à des modèles plus appropriés, qui nous permettront une description formelle de la mise en oeuvre d'une supervision proactive.

Notre approche de pilotage par supervision est semblable à celle développée par J.G. Ramadge et W.M. Wonham et repose sur le respect des spécifications qui traduisent les objectifs de conduite, tout en tenant compte de l'état courant du système. Nous utiliserons les Réseaux de Petri (RdP) déterministes comme outils de modélisation car ils sont bien adaptés à la description structurelle des systèmes de production. Nous utiliserons aussi la notion de vecteur d'état introduite par Y. Li et W.M. Wonham [Li et Wonham, 93] [Li et Wonham, 94].

## 2.4 Vecteur d'état

Dans leur approche, Y. Li et W.M. Wonham proposent une commande par supervision par retour d'état, basée d'une part sur les Vecteurs des Systèmes à Événements Discrets (VSED) qui déterminent l'état courant du système, et d'autre part sur les machines à états.

L'évolution du système obéit à l'équation fondamentale des RdP :

$$X = X_0 + E.V_\alpha \quad (1)$$

où : -  $X_0$  est l'état initial,  $E$  est la matrice d'incidence,  $V_\alpha$  est le vecteur d'occurrence,

-  $E.V_\alpha$  est le "déplacement" vectoriel suite à l'occurrence de l'événement  $\alpha$ .

Pour assurer une réactivité vis-à-vis des événements, nous utiliserons la notion de VSED, que nous appellerons vecteur d'état et nous apporterons quelques définitions relatives à ces vecteurs d'état dans le but de caractériser le système de commande réactif.

### 2.4.1 Définition formelle d'un vecteur d'état

L'état d'un SED est décrit par les différentes composantes  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (avec  $x_i \in \mathbb{N}$ ,  $\mathbb{N}$  étant l'ensemble des entiers naturels positifs) du vecteur d'état  $X$ . L'espace d'état d'un vecteur d'état est défini par un ensemble  $H$  de dimension  $n$ . Le passage d'un état à un autre sera décrit par la fonction de transition  $\delta : \Sigma \times H \rightarrow H$  :

$$\delta(\alpha, X) = X + E_\alpha \quad (2)$$

- où :
- $\Sigma$  est l'ensemble des événements que le SED peut générer,
  - $E_\alpha$  est le déplacement vectoriel suite à l'occurrence de l'événement  $\alpha$ .

### 2.4.2 Représentation formelle d'un SED

Un Système à Événements Discrets noté  $G$ , est défini par :

$$G = \{N, H, \Sigma, \ell, \delta, X_0\}$$

- où :
- $N = \{P, T, \text{Pré}, \text{Post}\}$  le modèle RdP du système  $G$
  - $H$  est l'espace d'état de dimension  $n$ ,
  - $\Sigma$  est l'ensemble des événements,
  - $\ell : T \rightarrow \Sigma$  est la fonction de labels et qui pour chaque transition  $t_i \in T$ ,  $\ell(t_i) = \alpha_i$ ,
  - $\delta$  est la fonction de transition définie précédemment (équation 2),
  - $X_0$  est l'état initial du système.

En adoptant ce formalisme, et en supposant que  $X_0 \geq 0$ , la condition d'occurrence d'un événement  $\alpha$  se traduit par la relation suivante :

$$X + E_\alpha \geq 0.$$

### 2.4.3 Exemple

Comme illustration de l'utilisation des vecteurs d'état, on considère le modèle RdP d'un système manufacturier composé de trois machines et d'un stock tampon (figure 6.4).

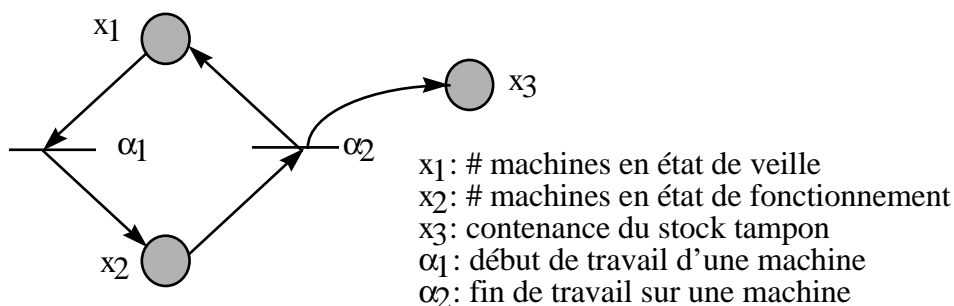


figure 6.4. Exemple d'utilisation des vecteurs d'état

On suppose qu'initialement les trois machines sont à l'état de veille (dans la place  $x_1$ ) et que le stock tampon est vide. Ainsi, le système peut être spécifié par :

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad \Sigma = \{\alpha_1, \alpha_2\}, \quad \ell(t_1) = \alpha_1 \quad \text{et} \quad \ell(t_2) = \alpha_2$$

$$E_{\alpha_1} = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad E_{\alpha_2} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad X_0 = \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

En considérant la séquence d'événements  $w = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_1 \alpha_2$  et en utilisant la relation (1), on obtient :

$$X = X_0 + E.V_w = \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix}.$$

Ceci peut être obtenu en utilisant la relation (2) :

$$\begin{aligned}
 X &= \underbrace{\left( \underbrace{\left( \underbrace{\left( X_0 + E_{\alpha_1} \right) + E_{\alpha_2}}_{x_1} \right) + E_{\alpha_1}}_{x_2} \right) + E_{\alpha_2}}_{x_3} \\
 &= \underbrace{\left( \underbrace{\left( \underbrace{\left( \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \right) + \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}}_{x_1} \right) + \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}}_{x_2} \right) + \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}}_{x_3} = \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

## 2.5 Événement contrôlable et incontrôlable

La modélisation en RdP du système met en évidence toutes les séquences d'événements physiquement possibles. La commande par supervision peut apparaître comme l'interdiction de la réalisation de certaines séquences d'événements. Ainsi le but de la supervision est de restreindre le fonctionnement du SED à un fonctionnement désiré. Cette démarche suppose que l'on puisse interdire l'occurrence de certains événements. Cependant, dans un SED certains événements ne peuvent être inhibés. En effet, dans un système de production par exemple, l'occurrence de la panne d'une machine ne peut pas être interdite, ce qui conduit à faire une partition de l'ensemble  $\Sigma$  des événements de la manière suivante :

$$\Sigma = \Sigma_u \cup \Sigma_c \text{ avec :}$$

- $\Sigma_u$  l'ensemble des événements incontrôlables, que l'on ne peut pas interdire par la commande,
- $\Sigma_c$  l'ensemble des événements contrôlables que l'on peut interdire.

## 2.6 Prédicat

Dans le contexte de la supervision des SED, nous utiliserons la notion de prédicat [Ramadge et Wonham, 87], pour représenter formellement les spécifications de commande. Ces dernières traduisent les décisions opérationnelles qu'il faut adopter pour atteindre les objectifs fixés par le niveau supérieur. La hiérarchisation de cette représentation est donnée par la figure 6.5.



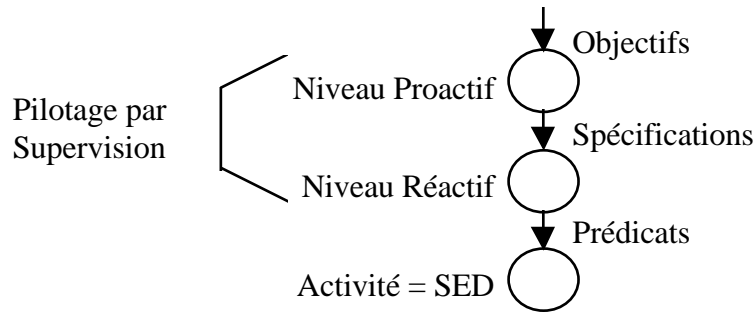


figure 6.5. Traduction des objectifs

On définit ainsi, un prédicat  $P$  sur un ensemble  $Q$  comme une fonction  $P : Q \rightarrow \{0,1\}$  (soit  $q \in Q, P(q) = 0$  ou  $1$ ).

Les opérateurs " $\neg$ " (négation), " $\wedge$ " (conjonction) et " $\vee$ " (disjonction) sont définis de la manière suivante :

- $(\neg P)(q) = 1 \iff P(q) = 0 \quad (q \in Q)$
- $(P_1 \wedge P_2)(q) = 1 \iff P_1(q) = 1 \text{ et } P_2(q) = 1 \quad (q \in Q)$
- $(P_1 \vee P_2) = \neg((\neg P_1) \wedge (\neg P_2))$ .

Considérant une relation  $R$  sur un ensemble  $Q$  ; ceci revient alors à définir un prédicat  $P_R$  sur  $Q$  :

$$P_R(q) = 1 \iff R(q) = \text{VRAI.}$$

Nous utiliserons pour notre part une représentation des prédicats sous forme d'inéquation linéaire du type :

$$P = (a_1 z_1 + a_2 z_2 + \dots + a_n z_n \leq b)$$

ou  $P = (A \cdot Z \leq b)$  avec  $A = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_n]$   $a_i, b \in N$ .

Ceci revient à dire que  $P = 1$  si et seulement si  $A \cdot Z \leq b$  est vrai.

## 2.7 Fonction de supervision

Une entrée de commande pour le procédé est un événement autorisé par la supervision. La supervision d'un SED consiste à permuter les entrées de commande en fonction de l'état courant du système, donné par le vecteur d'état  $X$ . La fonction permettant un tel mécanisme est appelée fonction de supervision. Le superviseur observe le système et spécifie pour

chaque événement qu'il reçoit, en fonction de l'état du SED, une entrée de commande  $\beta$  qui doit être appliquée à ce point de fonctionnement (figure 6.6).

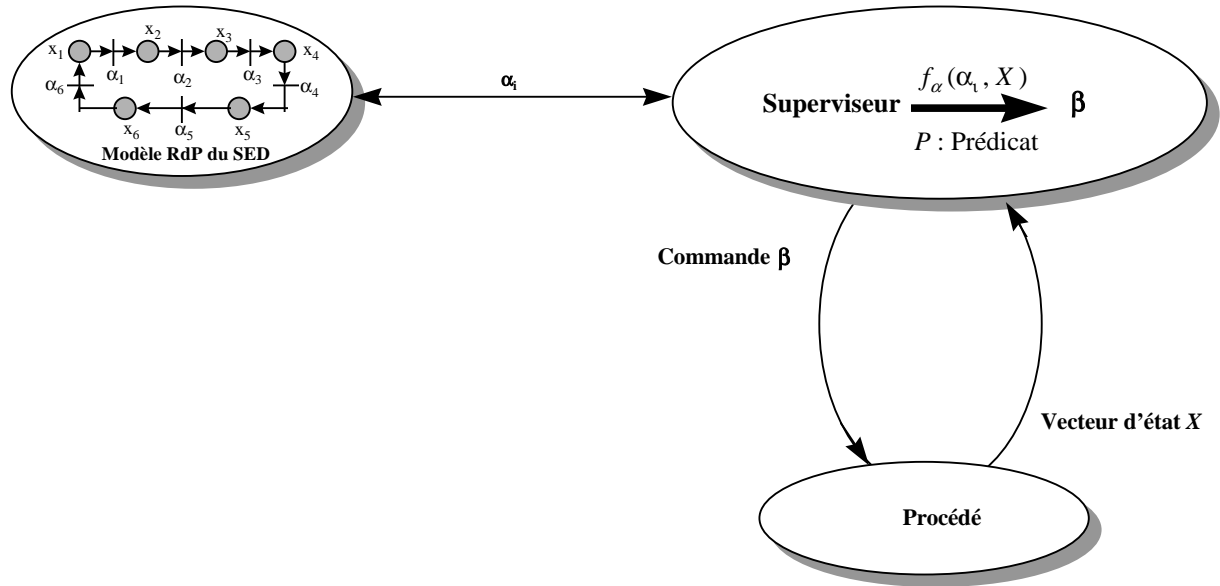


figure 6.6. Principe de fonctionnement de la commande par supervision

Un événement n'est donc admissible pour un SED supervisé, que s'il est physiquement possible et qu'il est autorisé par la fonction de supervision. On définit ainsi la fonction de supervision de la façon suivante :

$$f_{\alpha}: \Sigma \times H \rightarrow \{0,1\}$$

$$(\alpha_i, X) \rightarrow \beta = \begin{cases} 1 & \text{si } \alpha_i \in \Sigma_u \\ 1 & \text{si } \alpha_i \in \Sigma_c \text{ et } P = 1 \\ 0 & \text{si } \alpha_i \in \Sigma_c \text{ et } P = 0 \end{cases}$$

En intégrant la fonction de supervision dans la fonction de transition donnée par l'équation (2), on obtient la relation suivante :

$$\begin{aligned} \delta(\alpha_i, X) &= X + f_{\alpha}(\alpha_i, X) \cdot E_{\alpha_i} \\ &= X + \beta \cdot E_{\alpha_i} \end{aligned} \quad (3)$$

Le but du système réactif est de déterminer la valeur de la fonction de supervision  $\beta$ , en fonction des événements  $\alpha_i$  qu'il reçoit, et de l'état courant du SED donné par le vecteur d'état  $X$ .

### 3. Application du pilotage par supervision

Nous allons donner deux exemples de pilotage par supervision proactif. Ils s'appuient sur des exemples tirés de la littérature dont nous avons conservé la structure et la méthode de résolution. Nous décrivons alors une voie de résolution originale, et surtout, nous proposons une lecture du problème à travers le filtre de l'architecture proactive et réactive que nous avons développée.

Le premier, qui a comme base de travail l'article de Y. Li et W.M. Wonham [Li et Wonham, 93], présentera un ajustement des règles du niveau réactif pour éviter une dérive des performances du système. Le deuxième décrira un principe d'intervention directe du niveau proactif pour éviter que le système n'évolue vers une situation de blocage (problème de deadlock présenté dans [Banaszak et Krogh, 90]).

#### 3.1 Pilotage par ajustement de règles

Considérons le système de production dont le synoptique en modèle agent est donné figure 6.7.

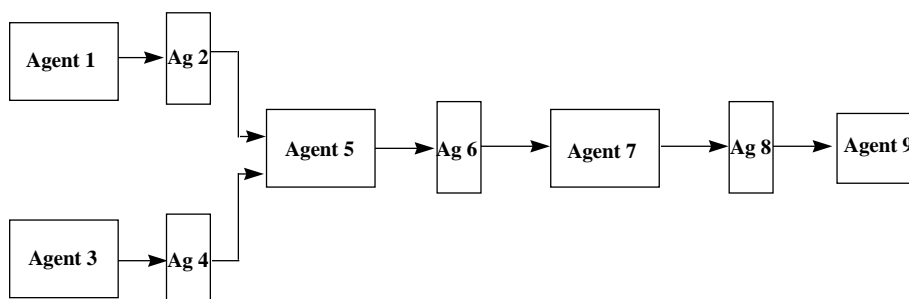


figure 6.7. Synoptique du modèle agent du système de production

Les agents 1, 3, 5, et 7 modélisent des stations de travail dont une description détaillée est donnée figure 6.8.

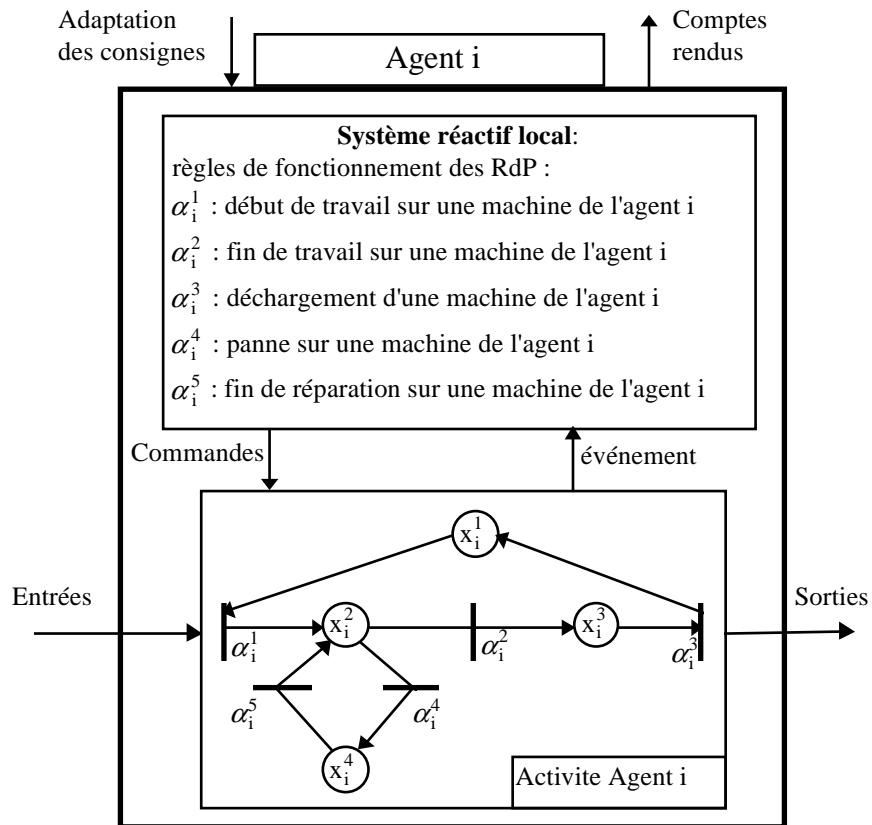


figure 6.8. Modèle agent d'une station de travail

Les agents 2, 4, 6, 8 représentent des stocks tampons et l'agent 9 représente un poste de contrôle qualité. Le modèle complet est représenté figure 6.9.

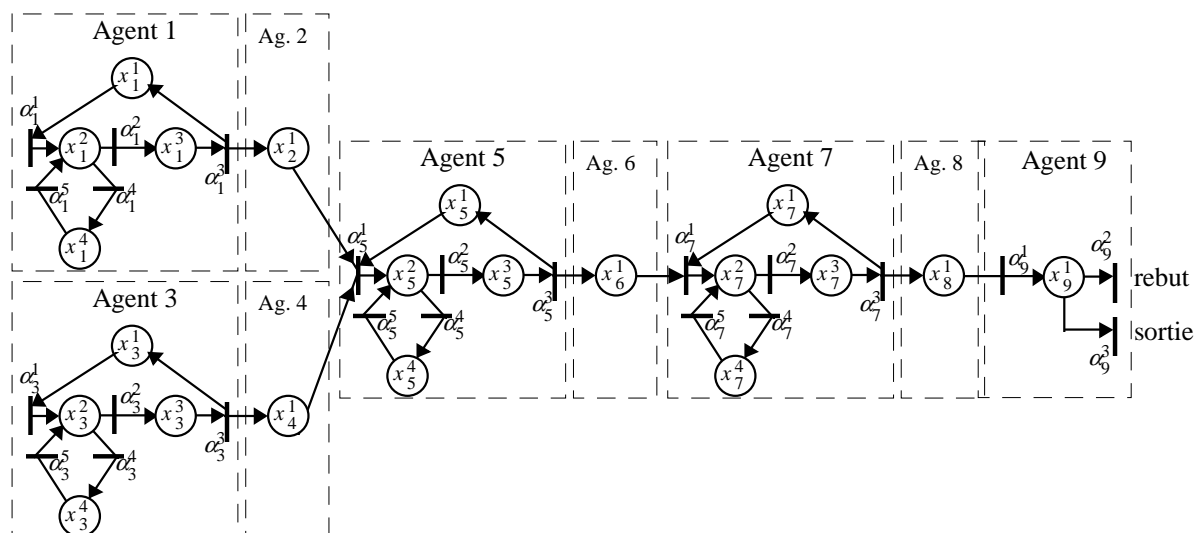


figure 6.9. Modèle RdP détaillé du SED

Le système opère de la manière suivante : les agents 1 et 3 reçoivent des pièces de façon indépendante d'un système en amont non représenté sur la figure 6.9. Une fois leur activité terminée, les agents 1 et 3 transmettent les pièces aux agents 2 et 4, représentant deux stocks tampons. L'agent 5 effectue l'assemblage des pièces en provenance des agents 2 et 4. Une fois l'opération d'assemblage effectuée, les pièces sont transmises à l'agent 6 représentant un stock tampon. Les pièces sont ensuite transférées à l'agent 7 qui les dépose, après transformation, dans un stock tampon modélisé par l'agent 8. Ces pièces stockées passent ensuite sur le poste de contrôle qualité représenté par l'agent 9. Les pièces présentant un défaut sont éliminées et dirigées vers un stock de recyclage non représenté. Cette opération est modélisée par la transition  $\alpha_9^2$  qui est incontrôlable. La transition  $\alpha_3^3$  représente la sortie des pièces correctes.

### 3.1.1 Modélisation formelle des agents

#### 3.1.1.1 Agents 1, 3, 5, 7 : station de travail

L'état de chaque agent  $i$  ( $i = 1, 3, 5, 7$ ) peut être décrit par quatre variables d'état  $x_i^1, x_i^2, x_i^3$  et  $x_i^4$  (voir figure 6.8). Le vecteur d'état correspondant est :

$$X_i = \begin{bmatrix} x_i^1 \\ x_i^2 \\ x_i^3 \\ x_i^4 \end{bmatrix} \text{ avec } x_i^j \in N.$$

La fonction de transition pour chaque agent  $i$  ( $i = 1, 3, 5, 7$ ) est :

$$\begin{aligned} \delta_i: \Sigma_i \times H_i &\rightarrow H_i \\ \delta_i(\alpha_i^j, X_i) &= X_i + E_{i,\alpha_i^j} \quad (i = 1, 3, 5, 7) \end{aligned}$$

avec (voir figure 6.8) :

$$E_{i,\alpha_i^1} = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad E_{i,\alpha_i^2} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad E_{i,\alpha_i^3} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad E_{i,\alpha_i^4} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad E_{i,\alpha_i^5} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}.$$

Initialement toutes les machines des différents agents  $i$  ( $i = 1, 3, 5, 7$ ) sont à l'état de veille. Le vecteur d'état initial est :

$$X_{i,0} = \begin{bmatrix} g_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{où } g_1 \text{ est le nombre de machines de l'agent } i, i = 1, 3, 5, 7.$$

En résumé chaque agent  $i$  ( $i = 1, 3, 5, 7$ ) peut être décrit par  $G_i = \{ N_i, H_i, \Sigma_i, \ell_i, \delta_i, X_{i,0} \}$ . En supposant que seul l'événement  $\alpha_i^3$  "déchargement d'une machine de l'agent  $i$ " est contrôlable on a :

- $\Sigma_i = \{ \alpha_i^1, \alpha_i^2, \alpha_i^3, \alpha_i^4, \alpha_i^5 \}$  ensemble des événements et,
- $\Sigma_{i,c} = \{ \alpha_i^3 \}$  ensemble des événements contrôlables.

### 3.1.1.2 Agent 9 : contrôle qualité

L'agent 9 représente le poste de contrôle. Il peut être décrit par  $G_9 = \{ N_9, H_9, \Sigma_9, \ell_9, \delta_9, X_{9,0} \}$  avec (voir figure 6.9) :

- $\Sigma_9 = \{ \alpha_9^1, \alpha_9^2, \alpha_9^3 \}$  ensemble des événements
- $\Sigma_{9,c} = \{ \alpha_9^1 \}$  ensemble des événements contrôlables.

Le vecteur d'état de cet agent est :  $X_9 = x_9^1$  avec  $x_9^1 \in N$ . La fonction de transition du poste de contrôle qualité est la suivante :

$$\begin{aligned} \delta_9: \Sigma_9 \times H_9 &\rightarrow H_9 \\ \delta_9(\alpha_9^j, X_9) &= X_9 + E_{9,\alpha_9^j} \quad (j = 1,2,3) \end{aligned}$$

avec  $E_{9,\alpha_9^1} = 1$ ,  $E_{9,\alpha_9^2} = -1$  et  $E_{9,\alpha_9^3} = -1$ .

### 3.1.1.3 Agents 2, 4, 6, 8 : stocks tampons

L'agent 2 est modélisé de la manière suivante :  $G_2 = \{ N_2, H_2, \Sigma_2, \ell_2, \delta_2, X_{2,0} \}$  avec :

- $\Sigma_2 = \{ \alpha_1^3, \alpha_5^1 \}$  ensemble des événements
- $\Sigma_{2,c} = \{ \alpha_1^3 \}$  ensemble des événements contrôlables.

$$\delta_2(\alpha_1^3, x_2^1) = x_2^1 + 1 \quad \text{et} \quad \delta_2(\alpha_5^1, x_2^1) = x_2^1 - 1$$

$$(E_{2,\alpha_1^3} = 1, E_{2,\alpha_5^1} = -1) \quad \text{avec} \quad X_{2,0} = x_2^1 = 0.$$

Les agents 4, 6 et 8 sont décrits par  $G_i = \{N_i, H_i, \Sigma_i, \ell_i, \delta_i, X_{i,0}\}$ , ( $i = 4, 6, 8$ ) avec :

- $\Sigma_i = \{ \alpha_{i-1}^3, \alpha_{i+1}^1 \}$  ensemble des événements
- $\Sigma_{i,c} = \{ \alpha_{i-1}^3 \}$  ensemble des événements contrôlables.

$$\delta_i(\alpha_{i-1}^3, x_i^1) = x_i^1 + 1 \quad \text{et} \quad \delta_i(\alpha_{i+1}^1, x_i^1) = x_i^1 - 1$$

$$(E_{i,\alpha_{i-1}^3} = 1, E_{i,\alpha_{i+1}^1} = -1) \quad \text{avec} \quad X_{i,0} = x_i^1 = 0.$$

### 3.1.1.4 Modélisation globale du SED

Le système global de production peut être représenté par  $G = \{N, H, \Sigma, \ell, \delta, X_0\}$  avec :

- $N$  le modèle global du système décrit par le réseau de Petri,
- $H = \bigcup_i^9 H_i$  est l'espace d'état,
- $\Sigma = \bigcup_i^9 \Sigma_i$ , est l'ensemble des événements,
- $\Sigma_c = \bigcup_i^9 \Sigma_{i,c}$ , est l'ensemble des événements contrôlables,
- $\ell : T \rightarrow \Sigma$  est la fonction de label,
- $\delta : \Sigma \times H \rightarrow H$  est la fonction de transition globale, soit :  
 $\delta(\alpha_i^j, X) = X + E_{i,\alpha_i^j}$  avec  $X = [X_i = [x_i^j]]$  le vecteur d'état du système global,
- $X_0$  est l'état initial du système.

### 3.1.2 Règle de commande du niveau réactif du superviseur

Le fonctionnement non supervisé de chaque agent du système est déterminé par les règles de fonctionnement des Réseaux de Petri déterministes. Si une transition est validée, elle est franchie. Le rôle de la commande par supervision (niveau réactif) est d'inhiber ou d'autoriser le franchissement de transitions validées pour contraindre le fonctionnement du SED.

Si on suppose la capacité des stocks tampons illimitée, l'utilisation des prédicats pour la commande par supervision permet par exemple de fixer une valeur de remplissage maximale pour chaque stock tampon :  $ST_i \leq k_i$ . Ceci revient à définir pour chaque agent  $i$  ( $i = 2,4,6,8$ ) un prédicat  $P_i = x_i^1 \leq k_i$ . (marquage de la place=niveau du stock  $\leq k_i$ )

Cette limitation sur la capacité maximale du stock  $k_i$  permettra de réguler le taux de production  $T_{\text{désiré}}(i-1)$  des agents situés en amont de chaque stock : l'agent  $i-1$  sera figé en agissant par inhibition sur la transition contrôlable  $\alpha_{i-1}^j$  (figure 6. 10) si son taux de production désiré est atteint (le taux de production peut être un taux horaire, journalier, etc. Suivant les constantes de temps du problème).

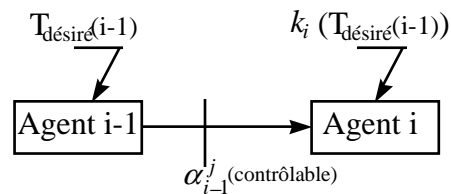


figure 6. 10. Régulation de l'agent  $i-1$  par contrôle de la transition  $\alpha_{i-1}^j$

Les spécifications de conduite sont donc traduites en prédicats. Le réglage des  $k_i$  est une traduction des objectifs de pilotage du SED. Une fois les  $k_i$  fixés, le niveau réactif de supervision applique une commande imposant le respect du prédicat  $P_i = (x_i^1 \leq k_i)$ .

### 3.1.3 Elaboration du niveau proactif

Si l'on considère que l'objectif principal de ce système est la production journalière d'un certain volume de pièce de bonne qualité, il faut, pour satisfaire cet objectif contrôler le nombre de pièces finies en bon état qui sortent de l'atelier à des intervalles de temps réguliers et le comparer à une valeur moyenne de production prédéfinie qui satisfait cet objectif. Cette comparaison va permettre de donner des indications sur la satisfaction ou non de l'objectif fixé, et sur les risques de dérive possibles.

Au niveau modèle, ceci revient alors à contrôler le nombre de fois où la transition  $\alpha_9^3$  est franchie. Pour cela, à la suite de Y. Li et W.M. Wonham, nous augmenterons le modèle agent



du système de la figure 6.9, en ajoutant une place appelée place-mémoire notée  $M$  et possédant comme transition d'entrée  $\alpha_5^3$  et comme transition de sortie  $\alpha_9^3$  (figure 6.11).

Le marquage de cette place correspondra alors au nombre de pièces rejetées par le poste de contrôle qualité. Ainsi, le système de mémorisation du niveau proactif peut se résumer dans ce cas, à la place-mémoire  $M$  du modèle agent du système. On notera par  $y$  la variable d'état de la place-mémoire  $M$ . L'état de cette variable dépend du nombre d'occurrence de  $\alpha_5^3$  et  $\alpha_9^3$ ,  

$$y = |\alpha_5^3| - |\alpha_9^3|.$$

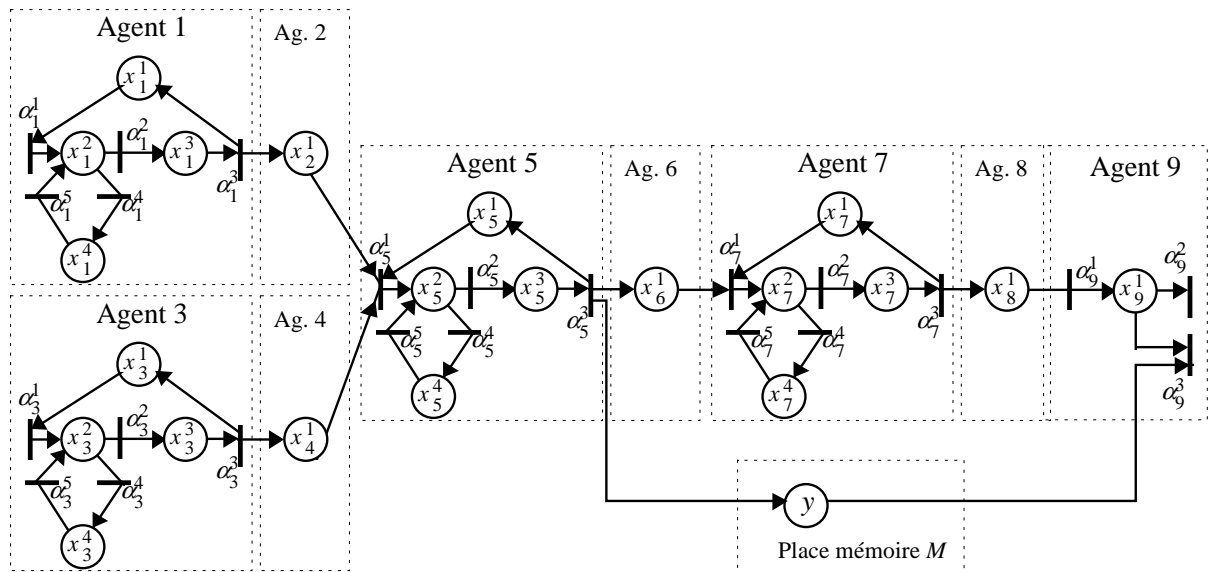


figure 6.11. Modification de la structure

Le niveau proactif est alors chargé de contrôler la variable  $y$  à des intervalles de temps réguliers et de la comparer à une valeur  $K_M$  qui fixe le nombre maximal de rebuts autorisé. Ainsi l'objectif sera satisfait si la relation  $y \leq K_M$  reste vrai sur un intervalle de temps limité par les instants  $j-1$  et  $j$ , appelé intervalle de contrôle  $I_c(j)$ .

Dans le cas où cette relation n'est pas respectée c'est-à-dire lorsque  $y > K_M$ , le niveau proactif doit modifier le fonctionnement du niveau réactif afin de compenser cette dérive de fonctionnement. Quelles que soient les mesures à prendre à moyen ou long terme, par exemple la recherche de la cause du problème qui est l'une des fonction du pilotage proactif, nous allons considérer qu'à court terme, cette compensation peut être obtenu par une

augmentation de la production des agents (décision sous optimale de compensation à court terme).

Le niveau proactif doit alors modifier les spécifications du niveau réactif afin de modifier le fonctionnement de la commande par supervision des agents.

Celui-ci ajuste alors les différents prédicats (spécifications de conduite) de manière à pallier le taux trop élevé de rebut observé à la fin de l'intervalle de contrôle  $I_c(j)$  à l'instant  $j$ , soit :

$$k_i(j) = k_i(j) + \Delta k_i(j).$$

Le  $\Delta k_i(j)$  dépendra alors du nombre de rebus donné par  $y$  à la fin de l'intervalle de contrôle  $I_c(j)$  à l'instant  $j$  et de la valeur de  $K_M$ . Ceci revient à modifier le taux de production des agents, de manière à combler le retard pris dans la production journalière. Le nouveau  $k_i(j)$  restera valable jusqu'à la fin du nouvel intervalle de contrôle où il sera réévalué.

### 3.1.4 Conclusion sur l'ajustement de règles

Cet exemple nous a permis de mettre en évidence un certain nombre de points sur l'architecture de pilotage proactif et réactif.

L'agent de supervision possède des objectifs (un taux de production journalier) pour le pilotage de son activité (ici la supervision d'un SED). Ces objectifs sont alors traduits en spécifications de commande relatives au taux de production de chaque agent  $i$  ( $i=1,3,5,7$ ) du système. D'un point de vue formel, ces spécifications de commande sont écrites sous forme de prédicats.

Le niveau réactif du superviseur suit les spécifications de commande du niveau proactif. Lorsqu'il reçoit un événement contrôlable du SED (l'activité pilotée), il réagit de manière synchrone, en suivant les règles fixées par le niveau proactif.

Le niveau proactif permet de suivre et d'interpréter l'évolution du système global. Ce suivi permet de déceler des déviations qui pourraient entraver la satisfaction des objectifs (détection de conditions de dégradation). Dans ce cas là, le niveau proactif vient ajuster les

spécifications qu'utilise le niveau réactif pour la commande par supervision du SED (par modification des prédicats).

Il faut noter dans ce cas, que le niveau proactif n'intervient pas directement dans la commande du procédé, mais seulement sur les règles utilisées par le niveau réactif.

### 3.2 Pilotage par intervention directe

Le deuxième exemple que nous allons présenter s'appuie sur les travaux de A.Z. Banaszak et B.H. Krogh relatifs aux situations de d'interblocage (*deadlock*) [Banaszak et Krogh, 90] qui peuvent se produire dans le pilotage des ateliers flexibles, en raison d'une compétition de différents processus pour des ressources partagées en nombre limité.

Nous allons proposer, en utilisant les mêmes outils que précédemment (Réseaux de Petri déterministes, VSED et prédicats), une architecture proactive de pilotage par supervision qui permette d'éviter les situations de blocage dues à des attentes circulaires de ressources non disponibles.

#### 3.2.1 Présentation du problème

Les ateliers flexibles peuvent être caractérisés par un ensemble de ressources polyvalentes connectées entre elles par un système de transport. Le pilotage d'un tel système consiste à coordonner le déroulement de différents processus comme par exemple la production simultanée de produits différents mais utilisant les mêmes ressources.

Le pilotage réactif d'un tel système peut conduire à des situations de blocages lorsque différents processus se déroulant simultanément sont en compétition pour l'accès à des ressources partagées. Dans le cas d'une modélisation par Réseau de Petri de l'atelier flexible (FMS), telle que nous la proposons, ce problème se traduit par l'absence de vie pour un ensemble de transitions (celles qui participent au deadlock).

Le niveau réactif, n'ayant qu'une vision locale (par processus) et événementielle (non contextualisée) du fonctionnement, peut ne pas détecter certains signes précurseurs. Le franchissement d'une transition, validée par le suivi des spécifications de conduite transcrites dans le prédicat du niveau réactif  $P_{RL}$ , peut alors conduire à une situation de blocage.

Nous proposons donc d'affecter au niveau proactif de pilotage par supervision le rôle de détection de ces situations à risque et d'inhibition de la commande du niveau réactif si nécessaire. Pour cela, si une telle situation est détectée, le niveau proactif doit forcer le prédicat à 0 pour invalider le franchissement de la transition concernée, quelle que soit la décision du niveau réactif. Nous utiliserons un prédicat de niveau proactif,  $P_{PL}$ , en conjonction avec celui du niveau réactif. Le prédicat final sera :  $P = P_{RL} \wedge P_{PL}$

avec  $P_{PL} = 1$  si le niveau proactif ne détecte aucune situation critique,

$P_{PL} = 0$  si le niveau proactif doit inhiber le niveau réactif.

D'un point de vue structurel, ce principe repose donc sur une architecture de subsomption<sup>25</sup>, c'est-à-dire une architecture dans laquelle les modules supérieurs sont dominants et inhibent, si nécessaire, la sortie des modules inférieurs.

Pour cela, nous allons modéliser les processus parallèles qui se déroulent dans l'atelier, afin de détecter l'accès aux ressources partagées.

### 3.2.2 Modélisation des processus parallèles

Nous considérerons donc un FMS comme un ensemble de ressources  $R$ . Pour chaque ressource  $r \in R$ , sa capacité maximale sera notée  $C_r \in \mathbb{N}^+$  (ensemble des entiers positifs). Dans le modèle réseau de Petri chaque ressource  $r \in R$  sera alors modélisée par une place notée  $x_r$ , dont le marquage  $M(x_r)$ ,  $0 \leq M(x_r) \leq C_r$  indique la capacité encore disponible pour la ressource  $r$ .

Nous appellerons  $Q$  l'ensemble fini des produits que doit réaliser le FMS. La gamme d'un produit  $q \in Q$  correspond à une séquence de ressources à utiliser. Nous décomposons la gamme en un certain nombre de pas, chaque pas correspondant à l'utilisation d'une ressource.

---

<sup>25</sup>L'architecture de subsomption a été développée par Brooks et présentée en 1986 comme un des premiers modèle de contrôle réactif. Elle repose sur le traitement parallèle d'une même donnée par différents modules classés hiérarchiquement par niveau de compétence. Un niveau supérieur peut ainsi décider d'inhiber les choix des niveau inférieurs pour faire appliquer le sien. (Voir pour cela les travaux de Brooks [Brooks, 86], et [Wooldridge et Jennings, 95] [Parunak, 96] [Ferber, 95] [Beslon, 95])

Cette séquence de pas sera appelée séquence de production et sera modélisée, pour chaque produit  $q \in Q$  par une séquence de places  $p_q = \{x_q(0), \dots, x_q(L_q+1)\}$ , où  $L_q$  est la longueur de la séquence de production du produit  $q$ . Un jeton dans la place  $x_q(0)$  indique le lancement d'un ordre de fabrication d'un produit de type  $q$  ; un jeton dans la place  $x_q(L_q+1)$  représente la fin de production d'un produit de type  $q$ . Les places intermédiaires  $x_q(1), \dots, x_q(L_q)$ , représentent les étapes de la séquence de production d'un produit  $q$ .

Pour des raisons de simplicité, nous nous limiterons à des processus séquentiels. Les ressources nécessaires pour un produit  $q \in Q$  sont spécifiées par une séquence de ressources  $r_q = \{r_q(1), \dots, r_q(L_q)\}$ , où pour  $j=1, \dots, L_q$ , chaque  $r_q(j) \in \mathbb{R}$  est la ressources nécessaire à l'étape de production correspondant à la place  $x_q(j)$ . Nous supposons que chaque étape de production nécessite l'utilisation d'une ressource unique. Chaque processus dans le FMS correspond à une demande pour un produit  $q$  particulier et l'avancée d'un processus à travers le FMS est modélisée par le cheminement des jetons à travers les places de la séquence de production de ce produit  $q$ .

Ainsi, pour chaque  $q \in Q$ , nous avons une séquence de transitions  $t_q = \{t_q(0), \dots, t_q(L_q+1)\}$  avec un arc d'entrée de  $x_q(j)$  vers  $t_q(j+1)$  pour  $j=0, \dots, L_q$ , et un arc de sortie de  $t_q(j)$  vers  $x_q(j)$  pour  $j = 0, \dots, L_q+1$ .

La figure 6.12 décrit la séquence de places et de transitions du produit  $q$ . Le tir de la transition  $t_q(0)$  correspond au lancement d'un ordre de fabrication du produit  $q$ , le tir des autres transitions correspond à l'avancement du processus de production de  $q$ .

L'utilisation d'une ressource est modélisée par les arcs connectant la place  $x_r$  à la transition correspondant dans la séquence de production. Pour un produit donné  $q \in Q$ , les ressources nécessaires sont indiquées par la séquence de ressources  $r_q$ .

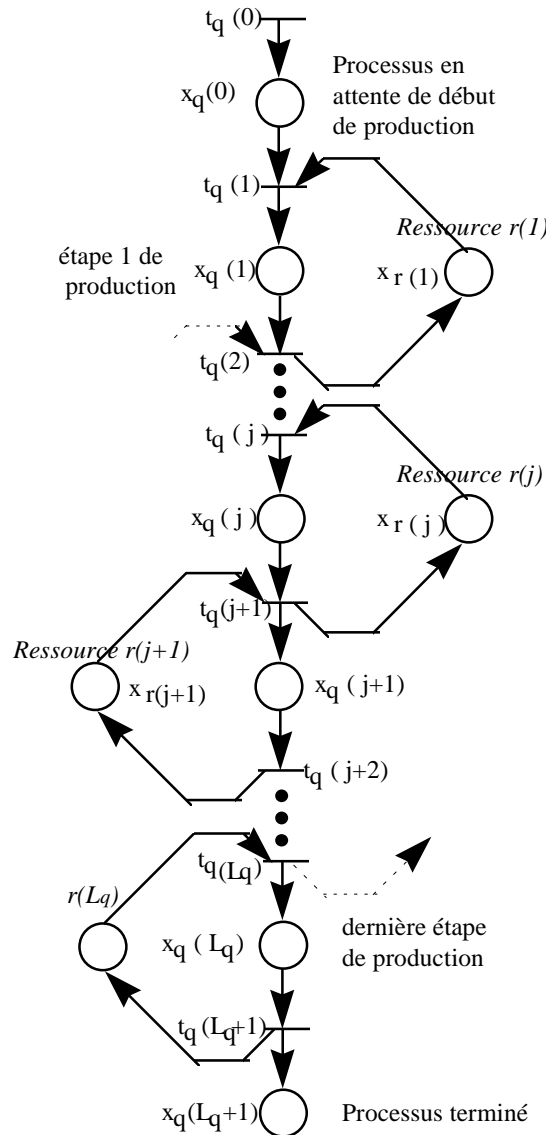


figure 6.12. Modèle RdP du processus de production d'un produit  $q$ .

Quand un processus pour la production d'un produit  $q \in Q$  avance de l'étape  $j$  à l'étape  $j+1$ , le marquage de la place  $x_{r(j)}$  (nombre de ressources disponibles  $r_q(j)$ ) est incrémenté de 1 alors que le marquage de la place  $x_{r(j+1)}$  (nombre de ressources disponibles  $r_q(j+1)$ ) est décrémenté de 1. Aucune ressource n'est nécessaire pour les étapes  $j=0$  (début) et  $j=L_q+1$  (fin), il n'y a donc aucune place ressource associée au franchissement des transitions  $t_q(0)$  et  $t_q(L_q+1)$ .

### 3.2.3 Exemple de blocage avec un seul produit

Nous allons montrer par un exemple simple qu'une situation de blocage peut arriver avec la production d'un type de produit unique  $q$ . Considérons l'atelier de la figure 6.13 dans lequel quatre stations de travail ( $ST_1, ST_2, ST_3, ST_4$ ) sont desservies par un système de

transport  $T$ , qui peut transporter les pièces indifféremment d'une station à l'autre. Chaque processus de production représente alors une séquence à travers les stations de travail (respect de la gamme) pour produire un exemplaire du produit  $q$  spécifié.

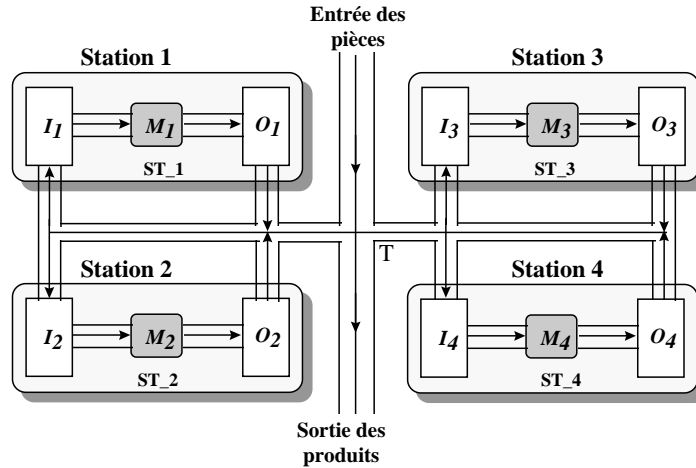


figure 6.13. FMS avec quatre stations de travail

Chaque station possède un buffer d'entrée pour stocker les pièces en attente de la ressource correspondante et un buffer de sortie pour stocker les pièces sur lesquelles l'opération a été effectuée.

$I_1, I_2, I_3, I_4, O_1, O_2, O_3$  et  $O_4$  représentent respectivement les stocks d'entrée et de sortie des stations  $ST_1, \dots, ST_4$ , (chacun de capacité 5). La machine dans la station  $ST_j$  est appelé  $M_j$ ,  $j=1, \dots, 4$ . L'ensemble complet des ressources pour cet exemple est :

$$R = \{I_1, I_2, I_3, I_4, O_1, O_2, O_3, O_4, M_1, M_2, M_3, M_4, T\}.$$

Supposons par exemple que le produit  $q$  doive suivre le chemin  $ST_3, ST_1, ST_2, ST_1$ . La longueur totale de la séquence de production est :  $L_q = 17$ , avec la séquence de ressources suivante :

$r_q = \{T, I_3, M_3, O_3, T, I_1, M_1, O_1, T, I_2, M_2, O_2, T, I_1, M_1, O_1, T\}$ . En supposant que le système de transport ne prenne une pièce que s'il peut la déposer à destination et qu'il n'y ait une seule machine par station, cette séquence peut être réduite pour la seule analyse des situations de blocage à l'étude des stocks, réduisant ainsi la séquence de ressources en jeu à une longueur  $L_q = 8$  :  $r_q = \{I_3, O_3, I_1, O_1, I_2, O_2, I_1, O_1\}$

Le modèle RdP de cette séquence de production représenté sur la figure 6.14 possède alors 10 places et 10 transitions.

Dans le cas où plus de 20 ordres de fabrication du produit  $q$  arrivent et où la préférence dans l'allocation des ressources est donnée aux nouveaux processus. Le retour des pièces en attente dans le buffer de sortie  $O_2$  de  $ST_2$  de retourner pour une seconde fois sur la station  $ST_1$  ne pourra pas se faire tant qu'une place ne deviendra pas libre dans le buffer  $I_1$ . Ceci ne pourra se produire que si une place devient disponible dans  $O_1$ . Si, comme nous l'avons supposé, la priorité a été donnée aux processus entrant sur le système, le stock  $O_1$  est rempli de pièces en attente de traitement sur la station  $ST_2$ . La libération d'une place dans  $I_1$  est donc subordonnée à la libération d'une place  $I_2$ , donc dans  $O_2$ .

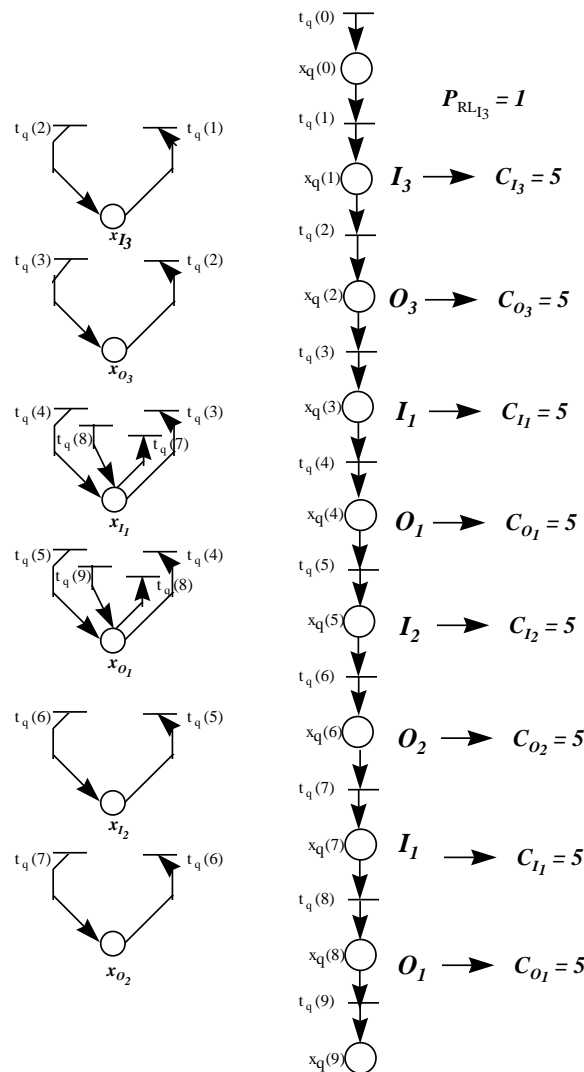


figure 6.14. Modèle RdP de la séquence de production du produit  $q$



Le modèle RdP de cette situation est donné par le marquage suivant :

$$M = m(x_q(3)) = m(x_q(4)) = m(x_q(5)) = m(x_q(6)) = 5$$

Dans cette situation, la transition  $t_q(7)$  est validée par le processus ( $m(x_q(6)) > 0$ ) mais pas par les ressources ( $m(x_{I1}) = 0$ ). Pour obtenir un jeton en  $x_{I1}$ , il faut soit tirer la transition  $t_q(4)$  soit la transition  $t_q(8)$ . La transition  $t_q(8)$  n'est pas validée par le processus car  $m(x_q(7)) = 0$  et il est donc impératif de tirer  $t_q(4)$  pour obtenir  $x_{I1} > 0$ . Ceci impose le tir de la transition  $t_q(5)$  (car  $m(x_{O1}) = 0$  et  $m(x_q(8)) = 0$  donc  $t_q(9)$  n'est pas validée), qui impose le tir de la transition  $t_q(6)$  (car  $m(x_{I2}) = 0$ ) qui impose le tir de  $t_q(7)$  (car  $m(x_{O2}) = 0$ ). On se trouve donc dans une situation de blocage circulaire<sup>26</sup> :

$$t_q(7) \rightarrow t_q(4) \rightarrow t_q(5) \rightarrow t_q(6) \rightarrow t_q(7).$$

### 3.2.4 Règle de commande du niveau réactif

Le superviseur, conformément à la description que nous avons faite, doit fournir une réponse aux événements venant du SED en fournissant la commande  $\beta$  qui permet le respect du prédicat  $P = P_{RL} \wedge P_{PL}$ .

Le niveau réactif s'intéresse à la disponibilité de la ressource nécessaire pour le franchissement d'une transition validée par un processus. Le prédicat associé au franchissement de la transition  $t_q(j)$  est alors défini de la manière suivante :

$$P_{RL_{t_q(j)}} = (M(x_{r(j)}) > 0) \Leftrightarrow P_{RL_{t_q(j)}} = 1 \text{ si } M(x_{r(j)}) > 0.$$

### 3.2.5 Pilotage du niveau proactif

Le rôle du niveau proactif est d'imposer une politique de commande restrictive, qui évite l'apparition de situation de blocage, c'est-à-dire qui garantit que pour chaque état atteint, il existe une séquence de tir qui conduira à un marquage à partir duquel toute transition validée par un processus (avancement du jeton dans la séquence de production) pourra éventuellement être franchie (il peut alors exister des politiques d'allocation des ressources différentes en termes de performance, mais ce problème n'est pas traité ici).

Tous les processus en cours sont donc en compétition pour l'obtention des ressources. Nous limiterons notre étude aux conditions de blocage générées par la production d'un seul produit  $q$  utilisant plusieurs fois une même ressource dans sa séquence (cas de l'exemple présenté précédemment). Cette restriction nous permettra de nous concentrer sur le principe que nous proposons, en utilisant des algorithmes existants.

Le rôle du niveau proactif est dans un premier temps, de déterminer l'ensemble des ressources  $r_q$  nécessaires à une séquence de production  $p_q$ . A partir de cette séquence  $p_q$ , il sépare l'ensemble des ressources nécessaires en deux sous-ensembles : sous-ensemble des ressources partagées  $S_{r_q}$  (Shared resources), c'est-à-dire apparaissant plus d'une fois dans la séquence, et sous-ensemble des ressources dédiées  $U_{r_q}$  (Unshared resources), qui n'apparaissent qu'une seule fois dans la séquence, avec  $r_q = S_{r_q} \cup U_{r_q}$ . La séquence de production  $p_q$  est ensuite transformée en une séquence de place  $s_{r_q}(i)$  (sous zone partagée) et  $u_{r_q}(i)$  (sous zone dédiée) qui représentent les étapes  $x_q(j)$  utilisant respectivement des ressources partagées et des ressources dédiées : pour chaque étape  $x_q(j)$  avec ( $j \neq 0$  et  $j \neq L_q + 1$ ) la place correspondante est associée,  $s_{r_q}(j)$  si l'étape  $x_q(j)$  nécessite une ressource partagée, ou  $u_{r_q}(j)$  si l'étape  $x_q(j)$  nécessite une ressource dédiée. Nous définissons ainsi une fonction d'éclatement des ressources  $\lambda$  de la manière suivante :

$$\lambda : H \rightarrow r_q$$

$$x(j) \rightarrow \begin{cases} s_{r_q}(j) & \text{si } x(j) \text{ nécessite une ressource partagée} \\ u_{r_q}(j) & \text{si } x(j) \text{ nécessite une ressource dédiée} \end{cases}$$

Ainsi, pour chaque produit  $q$ , nous pouvons décomposer la séquence de production  $p_q$  en un ensemble unique de  $n(p_q)$  sous séquence de production  $A_{r_q}(k)$ , de la manière suivante :

---

<sup>26</sup>deadlock condition due to circular wait

$$\begin{array}{c}
 p_q = x_q(0)\lambda(x_q(1))\dots\lambda(x_q(i))\lambda(x_q(n))\lambda(x_q(m))\lambda(x_q(j))\dots x_q(L_q + 1) \\
 \downarrow \quad \quad \quad \downarrow \quad \quad \quad \downarrow \quad \quad \quad \downarrow \\
 p_q = x_q(0)\dots\dots\dots s_{r_q}(i) \quad s_{r_q}(n) \quad u_{r_q}(m) \quad u_{r_q}(j)\dots\dots x_q(L_q + 1) \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \downarrow \quad \quad \quad \quad \quad \quad \downarrow \\
 p_q = x_q(0)\dots\dots\dots S_{r_q}(k) \quad U_{r_q}(k)\dots\dots\dots x_q(L_q + 1) \quad (1) \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \downarrow \\
 p_q = x_q(0)A_{r_q}(1)\dots\dots\dots A_{r_q}(k)\dots\dots\dots A_{r_q}(n(p_q))x_q(L_q + 1).
 \end{array}$$

$$\text{avec } A_{r_q}(k) = S_{r_q}(k) U_{r_q}(k), \quad k = 1, \dots, n(p_q)$$

Avec cette nouvelle représentation de la séquence de production  $p_q$ , le niveau proactif peut, en utilisant l'algorithme proposé par A.Z. Banaszak et B.H. Krogh dans [Banaszak et Krogh, 90], déterminer le prédicat  $P_{PL}$  de telle façon qu'il ne se produise pas de blocage dans l'évolution du SED :

$P_{PL} = 1$  si et seulement si :

- cas 1 :  $x_q(j)$  est la première place dans  $S_{r_q}(k)$  alors  $\left|A_{r_q}(k)\right|_M < C(R(U_{r_q}(k)))$

$$\text{avec } C(R') = \begin{cases} \sum_{r \in R'} C_r & \text{si } R' \neq \emptyset \\ \infty & \text{si } R' = \emptyset. \end{cases}$$

- cas 2 :  $x_q(j)$  est à l'intérieur de  $S_{r_q}(k)$  alors

pour chaque  $r \in R(x_q(j) \rightarrow S_{r_q}(k))$  avec  $r \neq r(j-1)$ ,  $M(x_r) > 0$

$x_q(j) \rightarrow S_{r_q}(k)$  représente la sous-séquence de  $S_{r_q}$  débutant par la place  $x_q(j)$  jusqu'à la fin de  $S_{r_q}$ .  $R(x)$  représente l'ensemble des ressources nécessaires à la sous-séquence  $x$ .

La règle 1 s'interprète de la manière suivante : pour être autorisé ( $P_{PL} = 1$ ) à pénétrer ( $x_q(j)$  est la première place dans  $S_{r_q}(k)$ ) une sous séquence de production  $A_{r_q}(k)$ , il faut que la capacité de ressources dédiées de cette sous séquence ( $C(R(U_{r_q}(k)))$ ) soit supérieure

au marquage de cette sous séquence (nombre de jetons présent dans  $A_{r_q}(k) = \left|A_{r_q}(k)\right|_M$ )

la règle 2 s'interprète ainsi : pour un déplacement à l'intérieur d'une zone partagée d'une sous-séquence, c'est-à-dire la requête d'une ressource partagée ( $x_q(j)$  est à l'intérieur de  $S_{r_q}(k)$ ) alors, toutes les ressources partagées nécessaires pour le reste de la sous séquence partagée ( $x_q(j) \rightarrow S_{r_q}(k)$ ) sont disponibles (existence d'un jeton dans la place ressource correspondante :  $M(x_r) > 0$ )

### 3.2.6 Application à l'exemple présenté en 3.2.3

A titre d'exemple de calcul du prédicat du niveau proactif, nous développons ici l'algorithme pour l'exemple présenté en 3.2.3.

L'ensemble des ressources partagées est  $S_{r_q} = \{I_1, O_1\}$  et celui des ressources dédiées  $U_{r_q} = \{I_3, O_3, I_2, O_2, I_4, O_4\}$  avec  $r_q = \{I_3, O_3, I_1, O_1, I_2, O_2, I_1, O_1\}$  ( $r_q = S_{r_q} \cup U_{r_q}$ ) pour la séquence de production  $p_q = \{x_q(0), \dots, x_q(9)\}$ .

En utilisant la décomposition (1), la séquence  $p_q$  peut être représentée de la manière suivante :

$$\begin{array}{l}
 p_q = x_q(0) \lambda(x_q(1)) \dots \lambda(x_q(8)) x_q(9) \\
 p_q = x_q(0) \underbrace{u_{r_q}(1) u_{r_q}(2)}_{U_{r_q}(1)} \underbrace{s_{r_q}(3) s_{r_q}(4) u_{r_q}(5) u_{r_q}(6)}_{S_{r_q}(2)U_{r_q}(2)} \underbrace{s_{r_q}(7) s_{r_q}(8)}_{S_{r_q}(3)} x_q(9) \\
 p_q = x_q(0) \quad U_{r_q}(1) \quad S_{r_q}(2)U_{r_q}(2) \quad S_{r_q}(3) \quad x_q(9) \\
 p_q = x_q(0) \quad A_{r_q}(1) \quad A_{r_q}(2) \quad A_{r_q}(3) \quad x_q(9).
 \end{array}$$

En considérant le marquage  $M = (m(x_q(3)) = m(x_q(4)) = m(x_q(5)) = m(x_q(6)) = 5)$  pour lequel les transitions  $t_q(4)$  à  $t_q(7)$  sont en situation de blocage, on remarque que dans ce cas nous avons  $|A_{r_q}(2)|_M = 20$  ce qui est supérieur à la capacité de ressources dédiées de cette sous séquence  $C(R(U_{r_q}(2))) = 10$ .

Dans le cadre d'un pilotage par supervision proactif, ce marquage n'aurait pas pu être atteint car un maximum de 10 processus auraient été autorisés dans la sous séquence  $A_{r_q}(2)$ . dans ce cas, la capacité des ressources dédiées dans  $U_{r_q}(2)$  aurait été suffisante pour faire évoluer un jeton en dehors de la place  $x_q(3)$ , libérant ainsi de la place dans le buffer  $I_1$  et autorisant le tir de la transition  $t_q(7)$ .

### **3.2.7 Conclusion sur l'intervention directe**

Cet exemple nous a permis de mettre en évidence les deux niveaux de comportement d'un pilotage par supervision proactif.

Le niveau réactif suit les spécifications fixées par le superviseur. Les processus évoluent en parallèle, mais pour le niveau réactif ils sont indépendants. Lorsqu'un événement arrive d'un processus (avancement validé d'une étape dans le processus), le niveau réactif établit un prédicat de commande en fonction de la disponibilité d'une ressource pour l'étape suivante du processus.

Le niveau proactif possède une vue globale de l'évolution des processus parallèles. En fonction de l'état des autres processus et des risques d'évolution vers des situations de blocage, il autorise ou inhibe les choix d'affectation de ressource du niveau réactif.

Nous pouvons noter que, même pour la production d'un seul produit, cette politique de commande est sous-optimale : elle constitue seulement une condition suffisante pour prévenir les situations de blocage.

## **4. Conclusion**

Ce chapitre nous a permis de développer un principe de pilotage par supervision proactif. Il complète, en développant une structure à deux niveaux, les méthodes de commande par supervision.

Le premier exemple s'apparente à une redéfinition dynamique des spécifications de commande, en fonction de l'état du système et de la détection de conditions de dégradation.

Le deuxième exemple correspond à de l'allocation dynamique de ressource. Le niveau réactif n'ayant qu'une vision locale sur le processus émetteur de l'événement est conduit à allouer la ressource au processus qui la demande si elle est disponible. Le niveau proactif, dans une vision globale des processus en cours d'exécution peut interdire cette affectation si elle peut conduire à terme, vers des situations de blocage.

Nous avons ainsi présenté, à un niveau très opérationnel, en utilisant des outils formels, un certain nombre des principes développés dans le pilotage proactif des activités :

- Pour le premier exemple, ajustement des règles du niveau réactif en fonction de la détection de conditions de dégradation et nécessité de disposer de flexibilité dans l'utilisation des ressources pour pouvoir atteindre les objectifs.
- Pour le deuxième, vision locale du niveau réactif qui réagit de manière synchrone (événementielle) et vision globale du niveau proactif qui lui permet d'interpréter les événements dans le cadre d'une situation du SED (conséquences à terme de cet événement dans le contexte actuel).

Après ce développement méthodologique très opérationnel qui nous a permis une interprétation nouvelle de la supervision des SED, nous allons développer une application industrielle se situant au niveau du pilotage stratégique. Elle nous permettra de valider l'architecture proactive développée dans les chapitres 1 à 5, ceci à différents niveaux de pilotage.

## **Chapitre 7 :**

### **proactivité et aide au pilotage stratégique**





## 1. Introduction

Après avoir présenté au chapitre 6 une instanciation à un niveau bas de pilotage, sur la base d'exemples académiques, nous développons ici une application des principes du pilotage proactif sur un cas industriel : l'aide au pilotage stratégique. Ces travaux répondent à une volonté de l'entreprise L'Electricfil Industrie (EFI) de mieux comprendre son fonctionnement. Ils reposent sur la recherche d'un modèle pertinent mettant en évidence les variables les plus caractéristiques, lui permettant de s'adapter aux évolutions de son environnement en s'appuyant, au niveau stratégique, sur une démarche d'anticipation et de réorganisation.

L'Electricfil Industrie est un équipementier automobile dont l'activité essentielle concerne la fabrication de produits destinés aux principaux constructeurs automobiles européens et mondiaux, PSA, Renault, General Motors, Volvo, Ford, Toyota, Nissan, Honda, etc., et à de gros équipementiers comme Valéo en France encore ZF en Allemagne. Elle emploie environ 500 salariés pour un chiffre d'affaires supérieur à 400 MF réalisé pour plus de 50% à l'exportation.

Les activités du groupe se concentrent autour de deux grandes lignes de produits et sont organisées en lignes et cellules de production :

- Les faisceaux d'allumage. Dans ce domaine, EFI est un des leaders européens avec la marque BOUGICORD. Il s'agit d'une production fortement intégrée, de la réalisation des composants à l'assemblage, qui constitue le métier de base de l'entreprise.
- Les capteurs. EFI maîtrise parfaitement la conception et la production de divers types de capteurs, permettant la mesure de grandeurs physiques telles que vitesse, position, déplacement, vibration et température. Cette activité connaît depuis plusieurs années une très forte croissance, de l'ordre de 30 à 40% en volume par an.

L'entreprise est soumise à de fortes exigences en termes de qualité totale, de Juste à Temps et de réduction des coûts. L'Electricfil Industrie s'interroge d'une part sur la pertinence de ses outils de gestion pour lui permettre d'identifier, d'analyser et d'anticiper les conséquences des évolutions structurelles de son environnement sur ses performances, et d'autre part sur l'efficacité de son organisation pour atteindre le niveau de réactivité requis (voir encadré 7.1).

encadré 7.1. Les motivations d'EFI

L'Electricfil Industrie (EFI), comme toutes les entreprises de son secteur, doit faire face aux exigences croissantes des constructeurs en matière de réduction des coûts, d'augmentation du taux de service et de la qualité des produits finis. A ce jour, la satisfaction de ces exigences, tant en ce qui concerne la qualité que le service, est un fait acquis, même si elle s'inscrit dans un processus permanent qui seul peut permettre à l'entreprise d'avoir une offre encore plus compétitive, et de rester sur ses marchés. La conjoncture économique difficile et la mondialisation des marchés se traduisent par une dramatique pression à la baisse des prix de vente des produits. Les actions de rationalisation menées par EFI en interne et les négociations avec les fournisseurs atteignent des limites, et ces gisements potentiels de productivité se tarissent. Aussi, pour répondre à ce nouveau contexte compétitif, EFI doit à la fois rationaliser ses activités de conception et refondre son organisation et le mode de gestion de sa fabrication. Les nouvelles organisations et les nouveaux outils de gestion qui devront être mis en œuvre répondront à :

- Une décentralisation et un renforcement de l'autonomie des unités constituées autour des domaines d'activité stratégiques, de façon à accroître la réactivité et à identifier tout potentiel de baisse de coût.
- Un allègement des structures organisationnelles, avec la réduction des niveaux hiérarchiques.
- Une rationalisation des processus administratifs au même titre que les processus de production.
- Une exploitation des nouvelles technologies de l'information (EDI).

Enfin, trois préoccupations relatives au pilotage de l'entreprise retiennent l'attention de la direction d'EFI, à savoir :

- Elever le niveau de performance en termes de réactivité et de coût par une organisation flexible — au sens de flexibilité opérationnelle —, sans générer trop de surcapacité ni de surcoûts. Cela exige une refonte des systèmes de gestion traditionnels.
- Appréhender l'émergence de situations à risque liées aux évolutions de l'environnement de l'entreprise, de façon à analyser, à anticiper les ruptures et à adapter en temps utile la stratégie de production.
- Assurer la cohérence de décisions prises dans une organisation qui se décentralise de plus en plus.

L'objectif de nos travaux était de fournir aux instances dirigeantes de la société - comité de gestion, comité de direction, responsables d'unités - les outils d'aide à l'analyse et à la décision leur permettant d'évoluer d'un comportement réactif vers un comportement proactif et réactif. Nous présentons dans ce chapitre :

- une représentation synthétique de l'organisation d'EFI utilisant le modèle Agent/Activité et permettant de poser les fondements d'une organisation réactive et proactive,
- des propositions pour le pilotage stratégique par une focalisation sur l'agent "comité de direction",
- une aide au pilotage opérationnel, par une description fine de la démarche de gestion des aléas pour l'agent "comité de gestion".

## **2. Fondements d'une organisation proactive et réactive ; aide au pilotage stratégique**

### **2.1 Modélisation à un niveau macroscopique de l'organisation**

Afin de mettre en place les outils d'aide au comportement proactif, la première démarche a été d'identifier, à un niveau macroscopique puisque nous nous intéressons au pilotage stratégique, les grandes activités de l'entreprise afin de modéliser l'organisation sous forme d'agents.

La description de l'organisation sous forme d'agents que nous présentons ici est à granularité forte. Les quatre grandes activités identifiées dans l'entreprise sont les suivantes (figure 7.1) : direction, production, technique, commerciale.

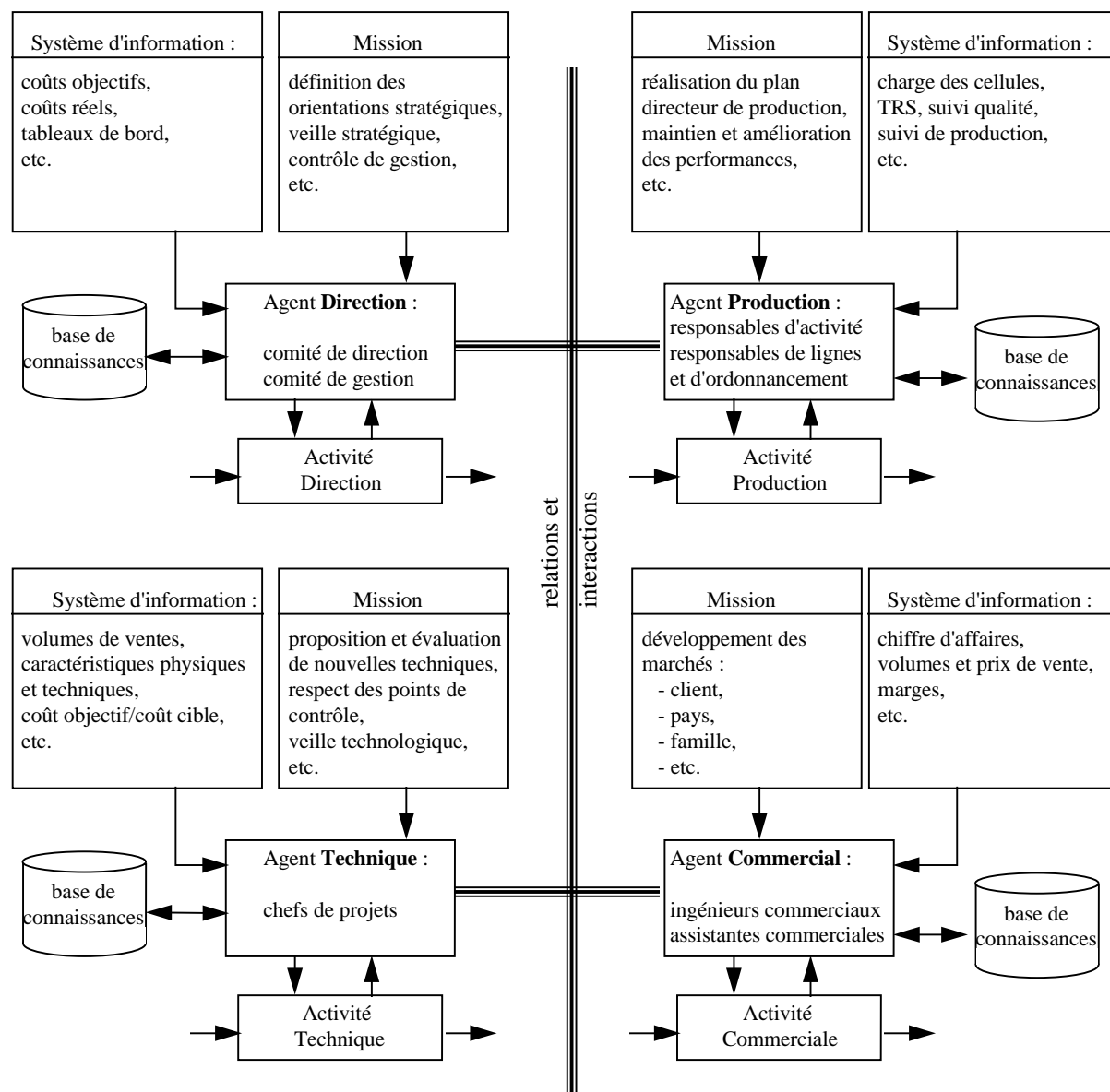


figure 7.1. Modèle Agent/Activité de l'organisation

De manière très agrégée, les missions de chacun de ces agents sont les suivantes :

- Agent "Direction" : définir les orientations stratégiques et assurer le contrôle de gestion
- Agent "Technique" : concevoir les nouveaux produits et étudier leur industrialisation
- Agent "Production" : réaliser au sein des ateliers les produits en fonction des commandes et adapter la capacité de production à l'évolution de la demande.
- Agent "Commercial" : gagner des parts de marché tout en tenant compte des ressources de l'entreprise. Son rôle est également de synthétiser les informations de provenances diverses afin de fiabiliser les prévisions.

La figure 7.1 décrit les principaux attributs de chaque agent. Les agents représentent des entités abstraites, qui regroupent en général de nombreux acteurs de l'entreprise : ceux participant au pilotage de l'activité concernée. On pourrait, par zooms successifs entrer dans le détail de chaque agent pour évoluer vers une description de plus en plus fine de l'organisation. Nous arrêterons pour notre part cet affinement au niveau 2 de l'agent direction en séparant par la suite les activités du comité de direction et du comité de gestion.

### 2.2 Vers un support collectif de l'information

Le comportement proactif repose sur deux piliers qui sont l'anticipation des aléas par la détection de situations à risque et la capitalisation des connaissances afin d'améliorer les modèles supportant la décision.

Dans un cadre organisationnel, il est nécessaire de posséder une source d'information et de connaissance cohérente, c'est-à-dire ne contenant pas d'informations différentes, voire contradictoires suivant les agents concernés. Cette remarque reste valable au niveau d'un agent et renforce la voie de modélisation que nous avons choisie autour de l'activité<sup>27</sup>. En effet, il n'est pas rare que différents acteurs participant au pilotage d'une même activité, et donc représentés dans le même agent abstrait, utilisent des bases de données personnelles ou communes qui ne sont pas toujours cohérentes entre elles.

Une des premières mesures nécessaires à l'évolution de l'organisation vers un comportement proactif est donc la structuration et la mise en cohérence des différentes bases de données et de connaissances avec des niveaux d'agrégation pertinents<sup>28</sup>. Cette étape, qui représente une

---

<sup>27</sup> et non pas autour de l'acteur, voir chapitre 5.

<sup>28</sup>Le quotidien les Echos, dans ses cahiers du management des 4 et 5 Avril 1997, dans un article de G. Day sur l'apprentissage des marchés, précise à propos du groupe IBM que "au moment où la confusion était à son comble, on dénombrait 49 départements différents, répartis dans 27 services, qui tous analysaient les mêmes concurrents. Ce qui signifie que des centaines de personnes étudiaient les mêmes données, sans savoir ce que faisait les autres et sans partager leurs conclusions. La circulation de l'information était entravée par l'utilisation de fichiers et de bases de données locales, ainsi que de supports de communications ou de bulletins d'informations limités à une diffusion locale". L'article démontre ensuite l'intérêt de l'utilisation d'une base de données commune cohérente et l'amélioration de productivité, mais aussi de la communication que cette réorganisation a apporté à IBM.

évolution majeure dans la structuration des connaissances et l'apprentissage organisationnel s'est traduit par le développement d'une base de données et de connaissances pour supporter le Plan Industriel et Commercial : la base de données PIC.

Nous n'entrerons pas dans les détails de structuration de cette base de données commune car elle constitue, dans le cadre d'une convention CIFRE, un travail de recherche à part entière de J.P. Belardy impliqué lui aussi dans le projet ORGALEA.

Cette base constituera cependant un des supports de la connaissance des agents "Comité de Direction" et "Comité de Gestion" que nous détaillerons par la suite.

Le but principal du projet PIC est de permettre à chaque agent d'avoir accès aux prévisions commerciales qui sont, pour chaque article, les quantités vendues et le prix de vente pour chaque période. Ces informations vont permettre à chaque agent de déduire les connaissances qui lui seront nécessaires pour établir des plans d'action afin d'aborder les situations à venir dans les meilleures conditions possibles. Chaque agent a défini pour cela une grille d'analyse qui lui permet de mieux appréhender ces informations.

Les prévisions sont élaborées à partir d'un nombre réduit de critères, à la fois pour permettre de structurer les analyses selon les informations les plus pertinentes mais aussi pour que ces informations correspondent à des données connues des agents. Ces prévisions sont relatives aux produits et au contexte dans lequel évolue la production de l'entreprise : quels sont les nouveaux produits que l'entreprise mettra ou devra mettre sur le marché afin de suivre l'évolution technologique, quels seront les moyens de production nécessaires pour répondre de manière efficiente à la demande, quelles seront les conséquences des baisses de prix et des améliorations de la productivité sur les résultats financiers des années à venir, etc.

La base de données, et les informations relatives aux prévisions commerciales, produits de l'entreprise et marchés sur lesquels elle veut se projeter, sont structurées de manière à favoriser une approche collective des problèmes. Chaque service contribue, par les informations qu'il utilise, données technologiques ou commerciales sur les tendances des clients, à l'élaboration de ces chiffres qui seront ensuite mis à la disposition de l'ensemble des agents concernés. Ce principe, directement issue de nos réflexions permet une approche multivues des problèmes et permettra d'évoluer vers une résolution collective, puis vers un apprentissage collectif.

L'ensemble des connaissances est partagé entre les agents même si ceux ci n'utilisent généralement qu'une partie réduite de la base mise à leur disposition. Les recouvrements permettent des intersections entre les sous ensembles utilisés et créent des liens de cohérence et de compréhension entre les processus décisionnels des différents agents (figure 7.2). Chacun d'eux construit du sens autour des informations dont il dispose en les enrichissant avec celles qu'il reçoit des autres agents.

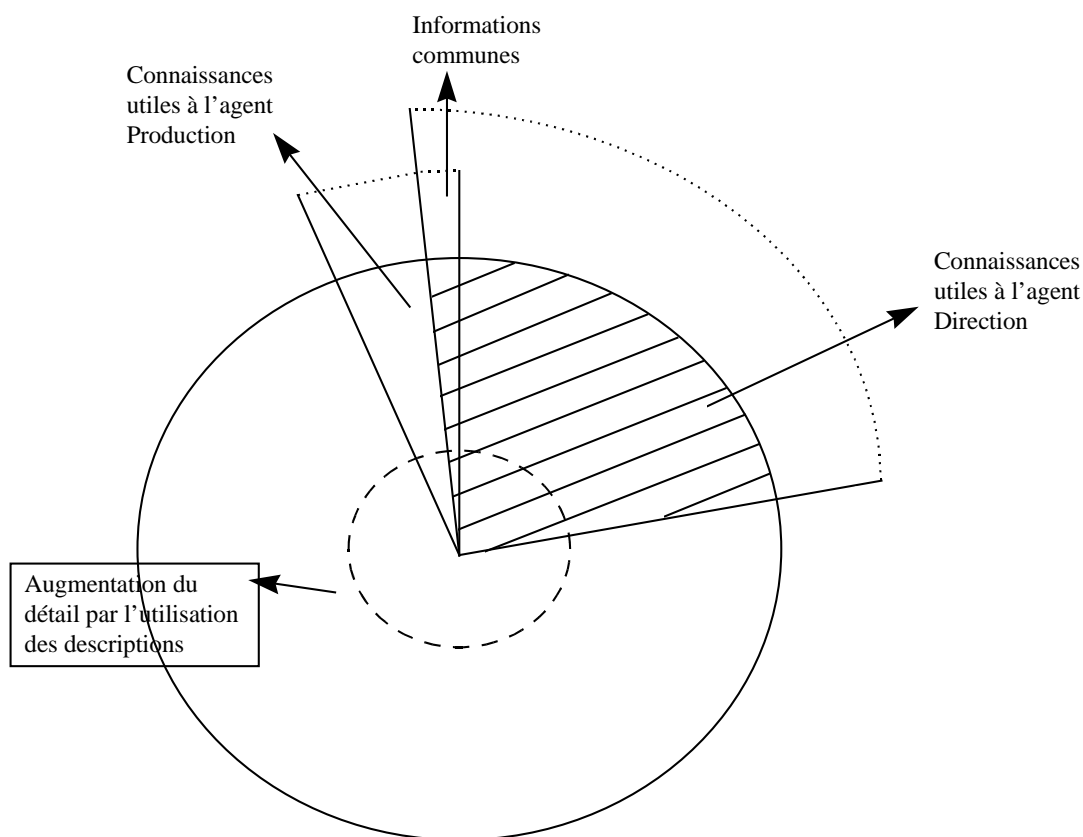


figure 7.2. Base de données partagées et exploitation collective des connaissances

### 3. Focalisation sur l'agent "comité de direction"

La direction de l'entreprise est assurée essentiellement par deux comités : le comité de direction et le comité de gestion. Certains acteurs de l'entreprise appartiennent à ces deux comités, et nous nous intéresserons ici à la fonction de ces comités, non pas à celle des acteurs qui la compose. Nous descendons donc d'un niveau dans la description, mais nous gardons le formalisme Agent/Activité que nous avons proposé.

Le comité de direction a deux missions principales :

1. Définir la stratégie de l'entreprise. Ce point concerne différents secteurs de l'entreprise :
  - Au niveau commercial, il s'agit de définir le positionnement sur les marchés et les stratégies client.
  - Au niveau technique, cela concerne les problèmes de recherche et développement.
  - Au niveau production, cela concerne le développement de filiales, la création de joint venture, les stratégies d'investissement et de production (faire ou faire faire).
  - Au direction lui-même, il s'agit de définir la politique de direction et la politique de gestion des ressources humaines.
2. Suivre la réalisation du plan, identifier les évolutions majeures de l'environnement et réaliser les adaptations stratégiques et tactiques rendus nécessaires par :
  - l'émergence de nouvelles tendances,
  - les stratégies des concurrents.

Le comité de gestion agit à un niveau plus opérationnel :

1. suivi de la réalisation des budgets et du résultat, suivi et analyse des performances,
2. adaptations opérationnelles et budgétaires (effectifs, horaires de travail, sous-traitance, etc.).

### **3.1 Définition des objectifs de l'étude**

Parmi les quatre grandes activités impliquées dans la mise en œuvre et l'utilisation de ce projet PIC, nous allons décrire l'agent "Direction" qui a été au cœur de notre étude. En s'appuyant sur le service contrôle de gestion, la direction générale fixe les objectifs, valide les plans d'investissement et de développement, et entérine le cadre budgétaire permettant ensuite une délégation des activités dans un cadre cohérent.

La démarche proactive repose en premier lieu sur l'enrichissement des connaissances, que nous étudierons à travers une meilleure compréhension de la dynamique de l'entreprise. Nous utiliserons aussi les développements réalisés autour de la base de données PIC comme support de la mise en œuvre du deuxième aspect relatif au comportement proactif : l'identification des situations à risque.

Cette identification nécessaire à la gestion précoce des aléas, repose sur :



- La définition du fonctionnement nominal qui constitue pour nous le fondement de la reconnaissance des aléas.
- L'identification et l'analyse de l'origine des dérives. C'est une vision a posteriori, nécessaire au comité de gestion, qui constitue, après l'aléa, un enrichissement des connaissances. Elle permet ainsi de mieux comprendre la dynamique de l'entreprise et de son environnement.
- L'analyse et la projection, pour l'aide au pilotage stratégique du comité de direction.

Conformément aux orientations fixées lors de la phase initiale du projet, nous ne remontons pas jusqu'au niveau de la définition des orientations stratégiques. Nous avons pour objectif de fournir des outils d'aide pour contrôler leur réalisation ou pour identifier et analyser les situations à risque pouvant la remettre en cause.

L'objectif de l'entreprise, que nous demandait de contrôler le comité de direction, était l'atteinte d'un niveau de rentabilité fixé, rentabilité mesurée en termes de résultat courant. Nous y avons intégré des contrôles relatifs à l'utilisation des ressources : contrôle de la faisabilité du plan de production, contrôle de la couverture des frais de structure (identification des situations à risque liées à la sur-utilisation ou à la sous-utilisation des ressources).

### **3.2 Caractérisation du fonctionnement nominal**

La démarche de formalisation du fonctionnement nominal est une démarche itérative. Elle repose sur une agrégation des données issues des différentes fonctions pour l'établissement des prévisions commerciales et des budgets, sur une analyse et sur des arbitrages à partir de ces données agrégées et enfin sur une déclinaison à tous les niveaux de l'organisation des décisions prises. Le système de gestion proactif s'appuie sur ce cadre nominal pour :

- anticiper les dérives et identifier les situations à risque dans le cadre du processus d'élaboration des plans (niveau comité de Direction),
- identifier les causes des écarts entre le prévu et le réalisé (niveau contrôle de gestion).

S'appuyant sur l'identification des caractéristiques du fonctionnement nominal au niveau élémentaire et sur des agrégations multi-critères de ces données élémentaires, il permet d'associer à chaque agent les variables d'état qu'il a pour mission de contrôler.

Le fonctionnement nominal a été caractérisé par un ensemble de variables d'état, variables globales au niveau de l'entreprise ou variables locales associées à une activité particulière et contrôlées par l'agent responsable de cette activité. Il a été formalisé en s'appuyant sur un modèle simplifié de l'organisation, facilement compréhensible et offrant des possibilités importantes en matière d'analyse, puis de simulation.

Deux catégories d'aléas peuvent mettre en cause l'atteinte des objectifs : une évolution imprévue du contexte économique ou un fonctionnement non conforme du système piloté. Il est à remarquer que dans le cadre de ce projet, gérer les aléas ne se résume pas seulement à la prise en compte d'un dysfonctionnement présent, mais intègre aussi la détection d'une évolution défavorable des performances de l'entreprise. La démarche anticipatrice de gestion des aléas repose donc d'une part sur une analyse de l'évolution du contexte industriel afin d'évaluer sa capacité à entraîner des dysfonctionnements internes et son impact sur les performances de l'entreprise, et d'autre part sur une mise sous contrôle des caractéristiques de fonctionnement internes de cette dernière.

### **3.2.1 Processus d'agrégation pour la détermination du résultat**

Cette caractérisation du fonctionnement nominal s'effectue à différents niveaux et selon plusieurs axes d'agrégation.

#### **3.2.1.1 Axe production**

Des données élémentaires de prix de vente, de coûts variables, de coût process et de coût d'étude sont fournies par le contrôle de gestion au niveau de produits ou produits génériques. Ces produits sont réalisés par des lignes de production. Il est ainsi possible d'agréger ces données de chiffres d'affaires, de coûts variables et de coûts process au niveau de ces lignes de production. Les coûts process, qui correspondent à des charges de structure fixes ou semi-fixes, étant par ailleurs estimés dans le cadre de budgets, un contrôle de cohérence des marges estimées par produits peut ainsi être effectué à ce niveau.

Les lignes de production sont propres à une activité (ou division : faisceaux, capteurs). Des charges de structure spécifiques à ces activités sont également fournies par les budgets. L'ensemble des charges peut ainsi être agrégé à ce niveau. De la même manière que la pertinence de la répartition analytique des coûts process peut être contrôlée au niveau des

lignes de production, la pertinence de la répartition des coûts d'étude peut être contrôlée à ce niveau par rapprochement avec les budgets d'étude et de recherche par activité.

Enfin l'ensemble de ces charges sont agrégées au niveau de l'entreprise. A ce stade d'autres charges de structures sont budgétisées et leur prise en compte conduit à la détermination des résultats courants.

Cet axe produit/ligne/activité/entreprise, constitue le premier axe d'agrégation des résultats et des variables d'état caractérisant le fonctionnement nominal sont associées à chacun de ces niveaux.

### **3.2.1.2 Axe marché**

Tout produit est associé à une famille technologique. Tout produit est rattaché soit directement à un client, soit à un marché. Les principaux produits sont rattachés à des fonctions et parfois à des véhicules.

Des critères de segmentation des marchés peuvent être introduits dans la base de données (notion de véhicule bas de gamme/gamme moyenne/haut de gamme, distinction des véhicules diesels et essence, etc.)

Les données de coût, de marges variables et contributives par produits peuvent être agrégées sur l'ensemble de ces critères permettant ainsi une caractérisation fine du comportement nominal et offrant des possibilités d'analyse très importantes pour identifier les évolutions prévisibles et les causes de dérives.

### **3.2.2 Variables caractérisant le fonctionnement nominal**

Une analyse fondée sur des données historiques a permis d'identifier les variables significatives et conditionnant le résultat de l'entreprise. Ces variables, caractérisant le fonctionnement nominal, peuvent être classées en quatre catégories :

- variables caractérisant l'activité,
- variables caractérisant les produits,
- variables caractérisant les charges,
- variables caractérisant les marges.

Par contre, cette même analyse de données historiques a mis en évidence l'impossibilité de caractériser un fonctionnement nominal sous la forme de plages de variation autorisées pour chacune des variables. En effet, celle-ci a mis en évidence que des variations mineures de multiples variables peuvent, lorsqu'elles sont cumulées, entraîner des dérives significatives du résultat. La mise sous contrôle de chacune de ces variables indépendamment les unes des autres s'avère donc parfois inefficace, et rend difficile la recherche de liens de causalité des problèmes.

Le fonctionnement nominal sera ainsi caractérisé, au niveau des produits, aux différents niveaux d'imputation des charges de structure, et à tous les stades d'agrégation des produits et des charges par :

- **Activité** : volume de production en unité de produits. Seuls les niveaux d'agrégation supérieurs pour lesquels les productions ne sont pas homogènes ne peuvent être caractérisés par des unités physiques.
- **Produit** : prix de vente unitaire ou prix de vente moyen aux niveaux élémentaires, chiffres d'affaires aux niveaux supérieurs d'agrégation.
- **Charges** : coûts unitaires de matière, de sous-traitance, de process, d'étude au niveau des produits et produits génériques. Montant des charges de structure aux différents niveaux d'imputation.
- **Marges** : marges sur coûts variables et marges contributives aux niveaux élémentaires, marges contributives et marges nettes aux niveaux supérieurs d'agrégation.

### **3.3 Formalisation des processus d'identification des situations à risques**

Pour l'agent comité de direction, l'anticipation et la maîtrise des dérives sur le long terme est une des clés majeures de la performance globale de l'entreprise. Le plan qui fixe les objectifs et les développements à long terme détermine une trajectoire pour l'entreprise. Le suivi de cette trajectoire doit être régulièrement vérifié et corrigé si nécessaire pour maintenir la pertinence de la structure. Tout écart d'indicateur de la zone caractérisant leur fonctionnement nominal, même peu important, peut entraîner des dérives de la trajectoire fixée par le plan : modification des volumes de production, changement dans le mix-produit, etc.

C'est pourquoi nous avons réalisé une évaluation des risques de dérives entre résultats prévus et résultats réels (puis entre résultats actuels et résultats futurs). Ils peuvent avoir pour origine :

A) Une évolution du volume de la demande. Cette évolution peut entraîner :

A) 1. Une non couverture des charges de structure si cette activité est inférieure aux prévisions. Ceci peut concerner :

- la couverture des coûts directs fixes de production,
- la couverture des coûts d'étude,
- la couverture des frais généraux,

A) 2. Des risques de surcharge sur certaines lignes de production

B) Une évolution de la structure de la demande :

Les marges sur coûts variables diffèrent fortement d'une ligne de produits à une autre, d'un produit à un autre. Une évolution, telle que la montée en puissance des produits à faible marge, l'ouverture de nouveaux marchés à marge réduite ou la baisse de volume des produits « vache à lait » entraîne des effets défavorables sur le résultat de l'entreprise. Ces tendances doivent être anticipées et analysées.

C) Une évolution des prix de vente :

l'évolution du mix-produit peut être amplifiée par des baisses de prix consenties. Un suivi des prix de vente moyens doit être mis en œuvre et leurs impacts sur les résultats doivent être analysés .

D) Une évolution des charges variables :

les différents ratios de charge variable, qui représentent globalement près de 50 % des charges de l'entreprise doivent être suivis.

E) Une évolution des charges de structure :

la couverture des charges de structure dépend d'une part du niveau d'activité (point A) et d'autre part du respect des budgets. C'est le respect des budgets prévisionnels qui est considéré à ce niveau.

La figure 7.3 montre de manière synoptique les différents regroupements (modes d'agrégation) proposés pour identifier les dérives possibles sur les produits et les risques potentiels qui peuvent ainsi être mis en évidence.

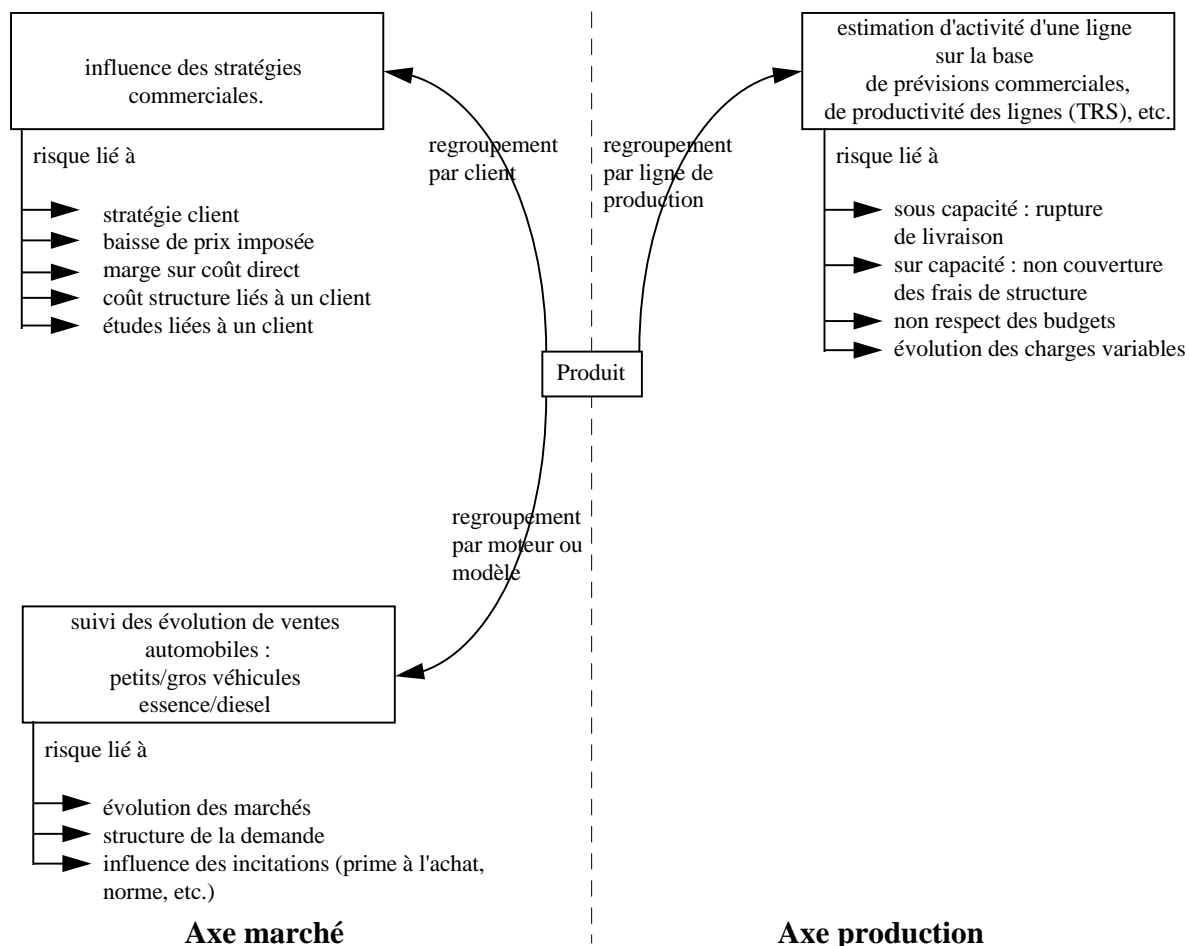


figure 7.3. Synoptique des différents modes d'évaluation des situations à risque

### 3.4 Démarche d'identification

La démarche d'identification des situations à risque repose sur la mise sous contrôle, au niveau global de l'entreprise et au niveau de chaque agent, des différents indicateurs associés aux variables caractérisant le fonctionnement nominal de l'entreprise. Elle peut être :

- Descendante ; il s'agit alors d'une démarche déductive recherchant l'origine des écarts constatés à des niveaux d'agrégation élevés par une identification des dérives affectant chaque segment ou secteur d'activité. La démarche retenue est alors une démarche d'analyse de criticité consistant à rechercher les origines principales des écarts constatés.

- Montante ; cette démarche *bottom-up* et multivues permet de déceler des écarts compensés par les phénomènes d'agrégation.
- Inductive ; il s'agit dans ce cas d'effectuer des simulations pour évaluer les impacts d'évolutions prévisibles de l'environnement ou du fonctionnement interne de l'entreprise. Il faut noter ici l'importance que prend la base de données PIC pour supporter les prévisions et les simulations.

Ces démarches sont complémentaires :

- La démarche déductive permet d'identifier les éléments à prendre en considération lors de l'analyse d'écarts réels constatés. Elle permet ainsi d'évaluer les corrélations existant entre différents facteurs, ou de détecter les dérives significatives.
- La démarche inductive permet d'évaluer des trajectoires possibles en fonction de la variation de certains paramètres. Par exemple, quelles peuvent être les conséquences d'une baisse de prix de 20% sur un produit, et quelles mesures d'accompagnement doit-on prendre.

Cette approche, maintenant que la structure existe et qu'un cahier des charges pour l'analyse des aléas a été réalisé devra s'appuyer sur des outils puissants d'analyse de données. Nous pensons que l'évolution, actuellement étudiée au sein de l'entreprise, vers un logiciel d'EIS (Executive Information System) constitue une voie de développement intéressante pour rendre opérationnelles nos propositions.

### 3.5 Remarque

Nous ne nous sommes pas attaché dans cette étude à qualifier le système de gestion réactif de l'agent comité de direction, sa fonction étant par essence essentiellement proactive. Deux remarques peuvent être cependant faites, qui pourraient étendre le champs de la proactivité :

- L'approche méthodologique engagée pour la détermination des situations à risque peut-elle être prolongée par une recherche d'identification des opportunités émergentes ou latentes. L'intérêt ne serait plus alors de considérer l'aléa comme le déclencheur du comportement proactif (pour anticiper ou capitaliser), mais d'inscrire ce comportement dans un processus d'amélioration permanent (pour s'améliorer, se diversifier, etc.). Il serait intéressant d'évaluer les conséquences méthodologiques d'une telle proposition.

- L'agent "comité de direction" doit traduire ses orientations en distribuant les objectifs aux agents qu'il coordonne. Il peut aussi influencer sur leur comportement réactif par l'établissement de plans ou l'instauration de règles. Nous avons ainsi identifié les principales règles qui pourraient lui permettre de traduire ses orientations stratégiques dans les faits :
  - orientations commerciales et techniques,
  - adaptation des structures (plans d'investissement, de développement, effectifs, etc.),
  - réorganisation des productions (transferts internes, développement ou réintégration de la sous traitance, etc.),
  - gestion des ressources humaines (réorganisation des équipes, embauche/intérim, etc.),
  - stratégie produit (analyse de la valeur, reconception de produits, etc.),
  - stratégie fournisseurs (prix/service).

#### **4. Analyse détaillée de l'agent comité de gestion**

L'identification des situations à risque présentée précédemment pour l'agent comité de direction nous a conduit à approfondir notre analyse sur l'agent "comité de gestion". Les travaux présentés précédemment se situent dans une vision prospective permettant d'évaluer l'évolution des résultats et des performances de l'entreprise. Le niveau comité de gestion représente une vision plus opérationnelle de la gestion des aléas, à travers l'analyse et le suivi des budgets et des résultats de l'entreprise. En intervenant a posteriori, elle est surtout utilisée pour comprendre et analyser, afin de mieux connaître la dynamique de l'entreprise et ainsi d'en améliorer le pilotage. Elle constitue une grille de lecture innovante, différente et complémentaire pour le contrôle de gestion.

Les informations utilisées sont essentiellement constituées des données de suivi issues de la comptabilité générale, du suivi budgétaire, du suivi des projets et du suivi de production. Les résultats du traitement de ces informations peuvent être de deux types : alerte transmise au comité de direction (un niveau de décision supérieur) ou décisions tactiques relevant du comité de gestion telles que : allocations budgétaires, décisions liées aux moyens de production (fabriquer dans l'entreprise ou sous-traiter, personnel embauché ou en mission d'intérim, etc.) ou redéfinition des contrats.



#### **4.1 Vue économique de la performance industrielle**

Le point de vue que nous adoptons ici est de mesurer la performance industrielle au travers du résultat [Neubert et Campagne, 95]. C'est une approche essentiellement financière, et notre objectif a été d'élaborer une grille de lecture et d'analyse permettant de mettre en évidence les dérives entre le résultat estimé et le résultat réel et d'en analyser les origines. Elle doit permettre de décomposer les écarts au niveau des différentes activités (vue production) et des principaux clients (vue marché), et si possible de remonter aux causes premières de la dérive. Enfin, elle doit autoriser une évaluation des conséquences prévisibles de ces dérives sur le résultat final.

#### **4.2 Structuration des charges**

Conformément aux usages de l'entreprise, nous avons classé les charges en deux catégories :

- les charges variables, directement proportionnelles à la production,
- les autres charges, considérées comme fixes, c'est-à-dire non directement proportionnelles à l'activité instantanée de production.

Nous avons alors considéré que le respect du fonctionnement nominal se traduisait par :

- un respect des ratios de consommation pour les charges variables,
- un respect des budgets pour les charges non directement proportionnelles à l'activité instantanée de production.

#### **4.3 Niveaux d'analyse des écarts**

Les écarts peuvent être alors analysés à un niveau très agrégé, pour avoir une estimation de la performance globale, ou au niveau des principales activités, des cellules ou lignes de production, des couples produit-marché, des principaux clients. La figure 7.4 montre les différents niveaux d'analyse possibles à partir du résultat qui peut être décomposé en trois grands chapitres :

- CDV : représente les Coûts Directs Variables ou les écarts liés à la consommation.
- AC : représente les Autres Charges.
- Production : représente les écarts liés à l'activité.

Il est donc possible d'affiner un résultat afin d'en avoir une modélisation plus précise. Les différentes zones de décomposition présentes sur la figure 7.4 font l'objet d'une évaluation lors de la préparation du budget prévisionnel. Il est donc possible, par identification et analyse des écarts identifiés à ces différents points, de mettre en évidence les dysfonctionnements :

- Au niveau très agrégé de l'entreprise, pour avoir une estimation de la performance globale.
- Au niveau des principales activités (vue produit) : le comportement des deux familles de produit de L'Electricfil Industrie, les faisceaux et les capteurs, est très différent. La première correspond à des produits à maturité pour lesquels l'entreprise a une position de leader sur son marché. La deuxième correspond à des produits en forte croissance faisant l'objet d'une concurrence importante et pour lesquels l'entreprise n'est pas en situation dominante. On évalue ici l'évolution de la rentabilité des familles de produits, et leur impact sur le résultat final.
- Au niveau des cellules ou lignes de production (vue production) : les productions des différentes références sont réparties sur plusieurs lignes qui n'atteignent pas les mêmes performances. On peut mesurer ici les incidences des gestions locales des lignes de production et mettre en oeuvre des opérations de "benchmarking" interne. On peut aussi évaluer l'adéquation des moyens de production mis en oeuvre avec la demande (objectif d'efficacité).
- Au niveau marché et client (vue marché) : les mêmes produits sont vendus sur des marchés différents avec des résultats plus ou moins similaires au niveau des principaux clients. Un même client achète plusieurs types de produits. Des clients semblables génèrent-ils les mêmes marges ou les mêmes écarts? Une analyse de type Pareto montre que 80% du chiffre d'affaires de L'Electricfil Industrie repose sur 10 clients. Ceci justifie une surveillance et une analyse fine à ce niveau.

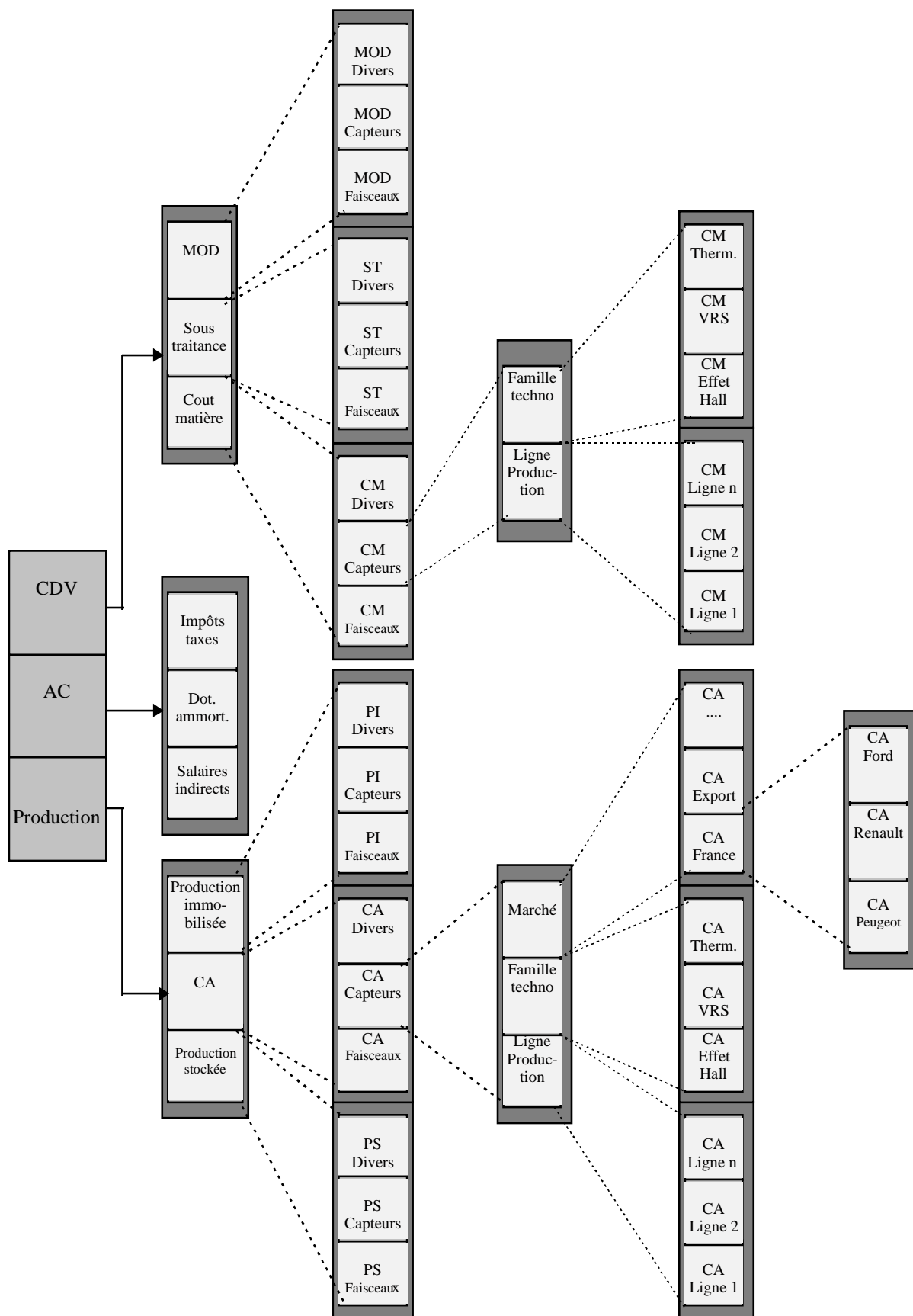


figure 7.4. Les différents niveaux d'analyse des écarts

#### **4.4 Agent "comité de gestion" et maîtrise des aléas**

Cette vue purement interne des aléas repose sur l'évolution de l'activité, des charges de structure et des facteurs de productivité de l'entreprise. La structuration proposée s'appuie sur l'organisation interne de l'entreprise et sur le système de comptabilité analytique en place :

- l'organisation du système de production en lignes permet de déterminer les marges sur coût variables dégagées par chacune des lignes.
- La comptabilité analytique permet de répartir les charges de structure au sein de l'entreprise et de modéliser le processus d'absorption de ces charges :
  - charges de structure des lignes,
  - charges d'étude,
  - charges de structure des activités,
  - frais généraux.

Ceci permet de modéliser le processus de constitution des marges (figure 7.5).

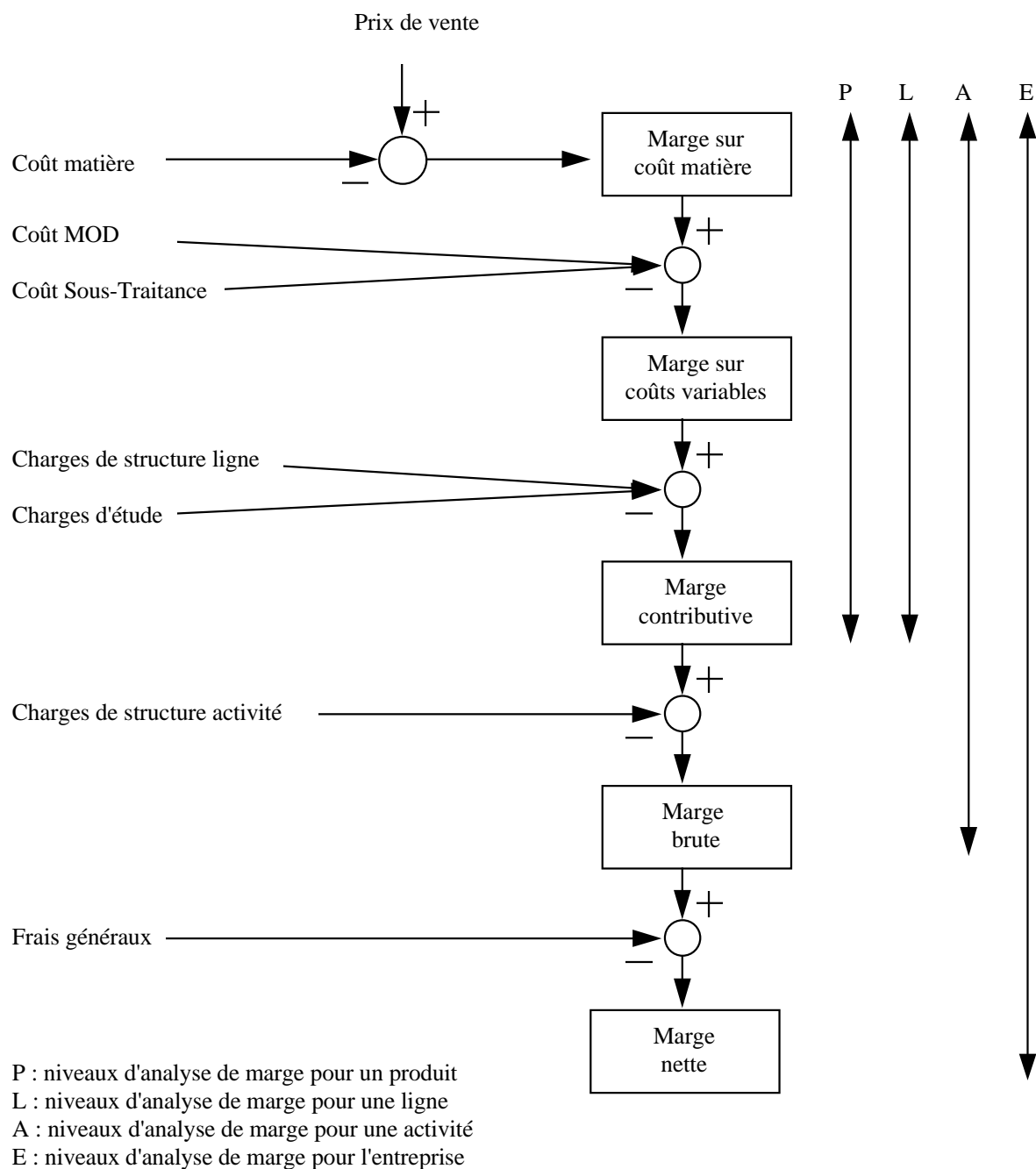


figure 7.5. Modélisation du processus de constitution des marges

Notre objectif a été de réaliser un outil d'aide à la décision qui, à partir de la description du fonctionnement nominal de l'entreprise, explicité sous la forme du budget, permette de mettre en évidence les lieux de rupture de ce fonctionnement (Les aléas sont ici perçus comme la non atteinte des objectifs fixés lors de l'établissement des budgets prévisionnels). Cet éclairage permet au comité de gestion de mieux comprendre les dérives constatées et d'agir en conséquence.

#### **4.4.1 Analyse des résultats**

Nous avons vu que le non respect des objectifs peut-être lié, pour un agent donné, soit à une variation du contexte, c'est-à-dire à une modification des conditions environnementales, soit au non respect du contrat par l'agent. Nous avons mis en évidence, avec cette grille de lecture, les deux cas de figure.

##### **4.4.1.1 Modification du contexte**

Le budget prévisionnel s'appuie en partie sur les estimations commerciales pour l'année future. Celle-ci ne sont pas toujours très fiables dans le domaine automobile, ce qui montre une fois de plus l'importance de la structuration des connaissances dans la base de données PIC. A cette incertitude dans les prévisions s'ajoute le fait que l'entreprise réalise une part importante de son chiffre d'affaires avec de nouveaux produits dont les dates de démarrage peuvent faire l'objet de glissements.

Les différentes lignes de production ont parfois connu des écarts significatifs entre le niveau d'activité prévu et celui réalisé. Ceci a introduit un écart entre le résultat réel et le résultat budgétisé qui n'est pas imputable à un mauvais fonctionnement des ateliers de production, mais à un changement de contexte. Certaines unités confrontées à des baisses du niveau d'activité ont eu des difficultés à adapter leurs structures en conséquence ; d'autres, soumises à une forte variation de la demande ont dû recourir à du personnel extérieur pour satisfaire leurs engagements, au détriment de leur productivité.

##### **4.4.1.2 Non respect des contrats**

Les différents agents de l'entreprise s'accordent lors de l'établissement des budgets sur le respect de différents paramètres de production :

- ratio de consommation matière,
- ratio de main d'oeuvre directe, personnel EFI, intérim, etc.,
- ratio de sous-traitance, pourcentage de produits sous-traités par rapport aux produits fabriqués en interne,
- autres charges, études, budget de publicité ou de déplacement, etc.

L'analyse des résultats montre que pour ces différents postes, les engagements pris lors de l'établissement des budgets ne sont pas toujours respectés de la même manière. Certaines unités de production ont par exemple connu des dépassements importants de main d'oeuvre directe (MOD), d'autres des évolutions significatives de leur structure.

### **4.5 Conclusion**

Cette approche permet de mettre en évidence les causes principales intervenant dans le non respect des objectifs et donc un certain nombre d'aléas affectant le fonctionnement nominal de l'entreprise.

Nous avons ainsi apporté une aide pour l'analyse des résultats, fondée sur le principe de la supervision du fonctionnement nominal et le contrôle du respect des contrats représentés dans notre exemple par le budget.

Ce travail a aussi permis d'attirer l'attention sur la coexistence dans l'entreprise de différentes visions du fonctionnement nominal. Il peut reposer sur :

- Des standards : les données techniques, nomenclatures, gammes, etc. permettent d'établir pour chaque produit une estimation des consommations matière, des temps de fabrication, de la charge de travail en MOD, etc. Ces données, sur lesquelles reposent en particulier la gestion des approvisionnements, l'estimation des charges et le calcul des coûts, traduisent souvent un compromis entre différentes finalités.
- Des prévisions : ce sont les données retenues lors de l'élaboration des budgets. il s'agit, pour l'essentiel, de données issues des standards mais elles intègrent également des prévisions, des données historiques et une connaissance informelle de l'activité par les agents. Les estimations issues des standards sont parfois réajustées selon l'appréciation des responsables.
- Des objectifs : le système d'intéressement est par exemple basé sur des objectifs de qualité, en termes de consommation matière, de taux de rebut, etc. Ces objectifs, qui constituent un but à atteindre ne coïncident généralement pas avec les autres référentiels. Ils s'inscrivent dans un processus d'amélioration et sont donc forcément différents.

S'il est logique d'avoir dans une même entreprise plusieurs référentiels, il est par contre nécessaire de savoir gérer et comprendre les écarts portant sur les références elles-mêmes, afin de savoir les exploiter pleinement.

## **5. Conclusion sur cette application Industrielle**

Les travaux menés dans ce cadre nous ont permis de mettre en application les développements conceptuels présentés dans les chapitres 1 à 5.

La description de l'organisation en activités nous a conduit à identifier, de manière très macroscopique, quatre agents, avec un niveau de détail suffisant pour les objectifs qui nous étaient fixés.

La mise en interaction de ces agents, nous a conduit à considérer comme nécessaire l'établissement d'une base de données commune comme support d'une organisation proactive. Elle sera la base de l'établissement des prévisions nécessaire à tout comportement proactif. Elle sera aussi une base de cohérence pour la prise de décision distribuée, voire collective, et un support important pour l'apprentissage organisationnel.

Le développement, sur la base du modèle Agent/Activité proposé, de l'agent comité de direction, a permis de valider certains points de notre approche.

L'approche de l'aléa convient relativement bien au niveau agrégé auquel nous avons travaillé. La définition du fonctionnement nominal et le suivi de ce fonctionnement semblent pertinent pour la gestion des aléas (sans pour autant constituer une démarche d'amélioration).

Nous avons pu mettre en évidence les deux temps proposés dans la noria de la proaction :

1. au niveau comité de gestion, l'analyse a posteriori des résultats de l'entreprise, voire des historiques portant sur les années précédentes, et leur comparaison avec ceux budgétisés, permettent de mettre en évidence, en suivant les décompositions proposées, les lieux, ou les situations intervenant dans la dégradation. Elles permettent une meilleure appréhension de la construction du résultat et constituent une amélioration conséquente de la connaissance du comportement de l'entreprise.



2. Au niveau comité de direction, à partir des analyses précédentes et des données prévisionnelles, il est possible d'engager des démarches prospective permettant d'anticiper l'apparition des aléas. En effet, au niveau pilotage stratégique, il ne s'agit pas seulement d'étudier les écarts relatifs à la réalisation d'un plan, mais de comprendre la dynamique de l'entreprise, c'est-à-dire de comprendre les variables clés qui constituent la performance : part de marché, niveau d'activité, marge sur coût variables, TRS, etc.

Ceci nous a cependant posé le problème de la pertinence de la notion de fonctionnement nominal et de plage de fonctionnement nominal. De manière indépendante, il n'est pas trop difficile de fixer des seuils, soit en termes de valeur absolue, soit en termes de pourcentage. Cependant, l'analyse montre que ces variables, ou ces variations ne peuvent pas être considérées séparément, ce qui augmente considérablement la difficulté de recherche des liens de causalité. Il est relativement délicat de fixer des "plages de bon fonctionnement" isolément pour les indicateurs, quand ce sont des évolutions simultanée et minimales de plusieurs indicateurs qui au niveau agrégé conduisent à des évolutions significatives du résultat. Ce point pose de manière cruciale le problème de l'évaluation des performances dans un univers distribué, ainsi que le problème de l'agrégation des données (qui fait l'objet de nombreuses recherches). Outre les problèmes techniques, l'agrégation doit respecter, pour être crédible dans l'entreprise, un certain nombre de critères. Par exemple, les regroupements doivent avoir une signification (notamment une signification commerciale), et les produits regroupés doivent présenter une certaine homogénéité (notamment en termes de marge, car il serait dangereux de regrouper un produit à faible marge avec un produit à forte marge qui pourrait masquer les problèmes).

Le deuxième point soulevé concerne la répartition des connaissances dans un univers distribué. S'il nous semble nécessaire de disposer de données et connaissances communes pour supporter la cohérence de l'entreprise et améliorer la communication, il est par contre difficile de savoir quelles connaissances doivent être ou non partagées. De manière plus triviale, la question posée est : quelle connaissance restée locale (au niveau d'un agent) aurait pu, si on l'avait rendue commune (et donc si on avait évalué son importance pour les autres agents), améliorer le comportement proactif des autres agents ou de l'organisation?





## **Conclusion générale**



## 1. Origine des travaux

A l'origine de cette thèse se trouvait le problème de la prise en compte des aléas dans les systèmes de gestion des entreprises. Les modes de gestion planifiés, pertinents dans un univers stables, ont peu à peu intégré un certain niveau de réactivité. Les critères de réactivités sont ainsi devenus essentiels dans le pilotage des activités : la prise en compte en temps réel des événements affectant le système permet les adaptations rendues nécessaires par les modifications qui apparaissent aussi bien dans le système de production que dans son environnement.

Le caractère de plus en plus perturbé du contexte de production, lié aux coûts que peut générer la réactivité, principalement en raison des degrés de flexibilité qu'elle réclame et des temps de mise en oeuvre, conduit à s'interroger sur de nouvelles formes de pilotage des activités.

La nécessité de réactivité n'est pas contestable, elle est un complément indispensable de la gestion planifiée. Elle doit cependant, à son tour, être enrichie suivant deux axes, afin de mieux prendre en compte les aléas pouvant affecter les performances du système :

- Un axe d'anticipation qui doit permettre d'éviter de se retrouver dans des situations dégradées. Ce point concerne la détection de conditions de dégradation, ou de situations à risque, et l'élaboration de réponses précoces.
- Un axe de capitalisation permettant d'améliorer les connaissances sur la dynamique du système piloté, pour augmenter les degrés de liberté du pilotage et élargir le champ des réponses possibles.

Ces deux axes, qui d'un point de vue temporel se situent respectivement avant et après l'aléa, représentent les deux directions de la proactivité. Ils viennent compléter un troisième axe, lié à la réactivité, qui est représentatif de l'adaptation en temps réel (pendant).

## 2. Des concepts à leur application

Le travail de recherche se nourrit avant tout d'un certain nombre d'apports conceptuels et méthodologiques. La formalisation du problème, sa représentation, puis l'utilisation de

modèles suffisamment ouverts pour supporter un discours relevant de différents points de vue sont essentiels à sa prise en compte.

Alors qu'aujourd'hui, la définition de la réactivité semble communément admise et ne paraît plus poser de problème (bien que nous ayons montré qu'il existe des points de vue différents), la formalisation de ce nouveau concept qu'est la proactivité méritait quelques approfondissements. Le mot, proactif, qui semblait relativement neuf et peu utilisé au début de ce travail, a très rapidement émergé dans de nombreux domaines, indiquant la nécessité de dépasser ou d'enrichir le comportement réactif.

Les entreprises n'ont pas attendu cette émergence pour inscrire l'anticipation et la capitalisation des connaissances dans leur modes de gestion. Elles ont cependant abordé ces problèmes de manière empirique et non formalisée. Nos travaux ont permis de donner un sens aux nouvelles formes de pilotage qui se mettent progressivement en place, et de réunir dans une architecture cohérente réactivité et proactivité.

Nous avons pour cela identifié les éléments qui constituent les bases incontournables de toute démarche proactive.

Nous avons présenté les principes organisationnels qui nous paraissent les mieux appropriés au développement de la proactivité. Certains relèvent d'aspects structurels, d'autres sont relatifs aux modes de fonctionnement de l'organisation : l'organisation ne doit pas être figée. Elle doit contenir un noyau de liens structuraux autour duquel s'auto-organise une structure réparties, décentralisée au plus près des activités de l'entreprise. Elle s'inscrit ainsi dans un processus dynamique favorisant l'émergence des interactions et la prise en compte collective des problèmes.

L'organisation repose sur des principes de division du travail beaucoup plus globaux que ceux de la division des tâches et des fonctions. Elle s'appuie sur la délégation et la définition de missions favorisant l'activité cognitive des acteurs et provoquant ainsi un basculement du contrôle vers le pilotage des activités. Ceci suppose alors que les acteurs disposent de degrés de liberté, de possibilités de choix, d'alternatives, et qu'ils ont la compétence nécessaire à la prise d'initiatives lors du choix des solutions ou lors de leurs interactions.

Nous avons alors montré l'importance de la flexibilité dans ce mode de pilotage : flexibilité des ressources qui permet le choix de différents points de fonctionnement et flexibilité de l'organisation qui permet les interactions et réorganisations nécessaires. Nous avons alors développé une architecture de pilotage permettant d'intégrer le niveau réactif et le niveau proactif et d'identifier clairement les fonctions de chacun de ces niveaux.

Afin de développer une approche méthodologique de la proactivité, nous avons formalisé de manière générique la notion d'aléa. Dans une approche multivues du système de production, nous l'avons définie par rapport aux objectifs de réalisation de l'activité, de manière à ce qu'il soit directement impliqué dans son pilotage. Ainsi, chaque acteur, par rapport à la vision qu'il a de l'activité et des objectifs qu'il poursuit, peut construire sa propre représentation de l'aléa, qui lui permettra de supporter un comportement réactif et proactif.

La dernière étape a été de proposer un modèle de représentation. Ce modèle devait répondre aux différents points développés précédemment. Il devait permettre de représenter les activités, l'activité cognitive des acteurs, les notions d'organisation, de délégation, de mission, de raisonnement et de comportement. Nous avons choisi de coupler une représentation de l'organisation à base d'activité avec un modèle multi-agents. Chaque agent est une entité abstraite, responsable de la réalisation d'une activité. Ce modèle nous a permis d'élaborer une représentation partageable de la notion de proactivité et des concepts qui l'entourent.

Enfin, nous avons confronté notre approche conceptuelle à deux types d'applications, intervenant à des niveaux très différents.

L'application à la supervision des Systèmes à Événements Discrets nous a permis, en nous appuyant sur des exemples académiques, de montrer l'efficacité d'une architecture en deux niveaux pour la supervision. Cette instanciation, qui présente une voie de résolution originale, nous a permis de mettre en évidence deux modes de couplage des niveaux réactif et proactif (un mode par ajustement et un mode par subsomption).

L'application à une problématique industrielle a permis de montrer que les principes développés permettaient une structuration intéressante de l'information. Les grilles de lecture que nous avons proposées inscrivent le comportement dans une démarche proactive répondant ainsi en partie à la demande industrielle. L'approche de l'aléa à travers les objectifs, les indicateurs de performance et la définition d'un fonctionnement nominal pour les agents est



pertinente pour ce niveau d'analyse. De plus, elle nous a permis de faire progresser l'entreprise dans la connaissance de sa dynamique et la structuration de ses informations.

### 3. Limites de la recherche

D'un point de vue méthodologique, l'absence de méthode d'évaluation de la proactivité, en particulier liée aux difficultés d'évaluation du comportement et à l'absence de critère et de points de mesure, nous ont conduit à positionner la proactivité plus en termes de préceptes à suivre que d'objectifs à atteindre.

Nous avons ensuite positionné notre vision des aléas par rapport aux objectifs. Cette approche, en considérant les objectifs et indicateurs de performance connus, s'affranchit du problème de la définition même des objectifs, de la construction d'un réseau d'indicateurs, et d'une manière générale de l'évaluation même des performances, d'autant plus difficile qu'elle s'exerce dans une organisation répartie.

La modélisation multi-agents manque de formalisme et devient très vite compliquée pour représenter finement l'architecture d'un agent, la nature des interactions qu'il entretient, et finalement modéliser une organisation. De plus, des travaux très hétéroclites utilisent cette méthode de modélisation avec des cibles différentes et construisent sous le mot agent, des représentations aux finalités très variées. Dans les recherches en productique, par exemple, un agent peut aussi bien représenter un produit, une ressource, ou, dans notre cas, le *pilote* d'une activité qui transforme des produits en utilisant des ressources. S'il n'est pas anormal que ce mode de représentation puisse s'appliquer à des objets relativement divers, il est cependant incontournable de bien préciser :

- La nature du modèle ; dans notre cas, c'est un centre de décision intelligent, guidé par des rationalités, supporté par l'activité cognitive et mettant en relation raisonnement et comportement.
- Son objet ; pour nous, ce modèle est destiné à la représentation.

Les limites reposent alors sur la capacité du modèle à effectivement remplir son objet, c'est-à-dire sur sa capacité à fournir une représentation générique, multivues de notre problématique. Si ce point nous semble acquis, une autre limite, beaucoup plus importante, tient à la capacité de ce modèle à dépasser son objet initial, et, par exemple, permettre une évolution de la

représentation à l'exécution (ou la simulation). Même si les travaux en IAD font aujourd'hui des progrès très rapides, les systèmes informatiques n'ont pas encore atteint la capacité à vraiment intégrer l'ensemble des paramètres que nous avons identifié dans la représentation.

#### **4. Perspectives**

Les perspectives de recherche sont nombreuses et peuvent s'appuyer en partie sur les limites que nous venons d'exposer.

D'un point de vue thématique, la proactivité fait désormais partie de ces qualificatifs qui entourent les nouvelles formes d'organisations productives et il nous semble intéressant de poursuivre des travaux sur son évaluation. Ce point vaut d'ailleurs pour d'autres qualificatifs qui peuvent être objectivés par l'organisation : l'entreprise est-elle bien proactive, est-elle bien communicante, est-elle bien qualifiante, etc.

A l'origine de ces travaux se trouvait la nécessité d'une meilleure prise en compte des aléas. En développant une représentation originale de l'aléa nous avons alors construit notre discours sur la proactivité en le centrant sur les notions d'objectif, d'indicateur de performance et de fonctionnement nominal. L'approche que nous avons proposée peut être étendue à toute démarche de pilotage par les objectifs et les indicateurs. Elles permet ainsi de dépasser la dimension individuelle et d'intégrer la démarche organisationnelle.

D'un point de vue modélisation, des travaux importants restent à faire sur la modélisation des nouvelles formes d'organisation productive, décentralisées, réparties, virtuelles, et des processus d'interaction qu'elles imposent, co-ordination, co-opération, co-conception, co-fabrication, co-opétition, co-etc. Ce point relève autant de problèmes méthodologiques, qu'opérationnels, comme le développement de méthodes et d'outils support. Les systèmes multi-agents, et le modèle que nous avons proposé ne sont qu'au début du cycle de vie d'un modèle, c'est-à-dire dans une phase de lancement. L'engouement qu'ils suscitent actuellement, même s'il est désordonné, devrait nous conduire vers une phase applicative, puis opérationnelle.

Enfin, nos résultats, à la fois en termes d'architecture et de modèle, constituent un support méthodologique qui peut être mis en oeuvre dans de nombreuses applications industrielles ou académiques.



**Lexique**



Abstraction	Procédure par laquelle un agent connaît sa représentation des connaissances.
Acteur	Instance sociale d'un agent.
Activité	Ensemble d'opérations finalisées, effectuées grâce à des ressources, dans le but de transformer des entités consommées en entités produites.
Agent	Entité capable d'agir sur elle-même et sur une activité, qui peut communiquer avec d'autres agents dans le cadre d'une organisation et dont le comportement est conséquence de sa compétence. Ce comportement peut être réactif ou proactif.
Aléa	Rupture du fonctionnement nominal d'un système qui fait passer ce dernier d'un état de service approprié à un état de service impropre.
Anticipation	Capacité de prévoir l'état du système à un horizon donné à partir de l'interprétation d'une situation existante.
Apprentissage	Processus par lequel les connaissances et compétences d'un agent ou d'une organisation se modifient au cours du temps.
Capitalisation	Processus qui permet de sauvegarder les connaissances et le savoir faire.
Commande	Ordre à exécuter envoyé par un système opérant vers un système physique.
Commandement	Précepte à mettre en oeuvre pour garantir une certaine capacité à un système.
Communication	Procédure par laquelle un agent émet des informations auprès d'autres agents afin que son comportement soit connu et compris par ces derniers.
Compétence	Ensemble de ce que l'agent sait, peut, doit et veut faire, et ce qu'il est capable d'évaluer.
Comportement	Action d'un agent induite par un traitement informationnel ou cognitif de l'agent. Il peut être réactif ou proactif.
Compte-rendu	Valeurs d'indicateurs d'un niveau de décision donné remontées au niveau supérieur.
Conditions de dégradation	Ensemble identifié de paramètres indiquant une dérive des performances.
Connaissance	Élément connu ou appris qui permet à un agent d'interpréter des données et d'agir conformément à cette interprétation.
Contexte	Ensemble des informations sur une situation.
Contrainte	Borne non négociable associée à un objectif ou à une ressource.

Contrat	Convention entre les membres d'une organisation, portant sur la définition du rôle d'un agent : mission (ce qu'il doit faire), ressources (moyens dont il dispose), contexte (hypothèses retenues pour l'élaboration de la mission et l'allocation des ressources), et engagements réciproques.
Contrôle	Application de lois de commande prédéfinies.
Contrôle de gestion	Fonction d'une entreprise ayant en charge le pilotage des coûts (évaluation, analyse d'écart, préconisations, etc.).
Coopération	Politique par laquelle plusieurs agents agissent ensemble afin de réaliser une mission.
Coordination	Politique permettant à des agents d'agir de façon pertinente les uns par rapport aux autres.
Critère de performance	Donnée utilisée pour apprécier si un système a atteint ou non des objectifs assignés.
Décision	Processus permettant d'interpréter une situation donnée, d'effectuer un choix ou une action, et d'en évaluer le résultat.
Direction	Relation entre agents par laquelle les missions de plusieurs agents sont définies et sanctionnées par un agent tiers (le directeur).
Efficacité	Classe d'objectifs mettant en relation les sorties d'un système avec ses entrées.
Efficience	Classe d'objectifs relatifs à la pertinence de la structure, du comportement ou de l'évolution du système par rapport à son environnement.
Engagement réciproque	Respect des interactions définies dans le contrat.
Environnement	Tout ce qui ne fait pas partie d'un agent. Il peut être interne (intérieur du système dont fait partie l'agent : les autres agents du SMA, l'entreprise, etc.) ou externe (extérieur du système dont fait partie l'agent).
Événement	Changement d'état de l'environnement perçu par un agent.
Exécution	Déclenchement d'une activité.
Flexibilité	Caractéristique permettant de maintenir une cohérence dans le pilotage d'un système par rapport à l'environnement qu'il doit affronter. Elle peut être potentielle (il existe des alternatives) ou opérationnelle (le décideur connaît ces alternatives).
Fonctionnement nominal	Caractéristique de fonctionnement attendu d'un processus, d'une activité, etc., dans un cadre fixé <i>a priori</i> .
Horizon	Limite temporelle définissant la visibilité maximale d'un système de pilotage.

Indicateur de performance	Artefact conçu par rapport à un objectif qui permet l'évaluation en mesurant la performance effectivement atteinte.
Information	Donnée ou événement contextualisé qui possède un sens.
Instanciation	Illustration locale d'un concept ou d'un modèle générique.
Interaction	Actions réciproques qu'entretiennent des agents pour satisfaire leurs objectifs, leur permettant de pallier un manque de ressources ou de compétences individuelles.
Interprétation	Mise en relation d'une information et de connaissances en vue de décider ou de capitaliser ses connaissances.
Mémorisation	Stockage d'information dans une structure dédiée à cet usage.
Mesure	Etablissement direct, à un moment donné, d'un lien entre une action et un résultat.
Mission	Ensemble d'objectifs assignés à un agent, relatifs à son activité ou à ses interactions.
Modèle	Représentation d'un phénomène utile pour le comprendre ou le contrôler.
Négociation	Procédure par laquelle sont définies les missions d'agents dont les objectifs sont contradictoires.
Objectif	Direction, orientation ou buts quantifiés assignés à une mission.
Objet	Entité informatique dans laquelle les données et les procédures qui les traitent sont regroupées d'une façon autonome et indépendante. Il est dit réactif s'il est capable de réagir à des événements.
Opérationnel	Relatif au système opérant et sur un horizon court terme.
Organisation	Structure ou processus qui assure la division et la coordination des agents en vue d'atteindre certains objectifs globaux.
Paradigme	Ensemble des attributs significatifs d'une classe.
Perception	Capture de données en fonction des codes définis par le système sensoriel.
Pilotage	Ensemble des moyens et méthodes mis en oeuvre pour orienter une action.
Plan	Séquence de règles visant à satisfaire des objectifs intermédiaires pour atteindre un objectif donné sur un horizon donné.
Proactif	Comportement par lequel un agent, ou une organisation anticipe l'apparition d'aléas et apprend à mieux les gérer
Proactivité	Capacité d'un système à être proactif.



Processus	Enchaînement finalisé, borné, d'activités provoquant un changement d'état dans les ressources et les produits.
Produit	Résultat d'un processus.
Programme	Séquence de calculs reposant principalement sur des données anticipées.
Qualité	“ Ensemble des caractéristiques d'une entité qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire les besoins exprimés et implicites ” [ISO 8402, 1993].
Réactif	Comportement par lequel un agent ou une organisation s'adapte à l'apparition d'un aléa
Réactivité	Capacité d'un système à être réactif, c'est-à-dire à s'adapter en temps utile lorsque surviennent certains événements, notamment des aléas, de façon à garantir son fonctionnement dans un cadre nominal fixé <i>a priori</i> .
Reconnaissance	Identification d'un objet physique ou symbolique.
Ressource	Elément nécessaire à l'exercice d'une activité.
Situation à risque	Position d'un ensemble d'indicateurs indiquant que le système risque d'évoluer vers un état impropre.
Stratégique	Relatif au devenir d'un système.
Suivi (de processus)	Prélèvement régulier des mesures relatives à des indicateurs de bon fonctionnement d'un processus. Le suivi suppose la capture de l'information, son traitement (centralisation, mise en forme...), et éventuellement son intégration.
Système de gestion	Ensemble des éléments qui assurent le pilotage d'un système donné.
Système sensoriel	Ensemble des capteurs de l'agent.
Tactique	Relatif à l'organisation d'un système, définie sur un horizon moyen terme.
Traitement	Procédures suivies par un agent pour transformer des stimulus en comportement. Le traitement peut être réflexe, ou cognitif s'il suppose un raisonnement.

## **Références bibliographiques**



**références bibliographiques**

- [AFGI, 92] Ouvrage collectif, *Evaluer pour Evoluer : Pilotage et évaluation de la performance industrielle*, Synthèse et bilan des travaux de la commission IP de l'AFGI, Paris : Ed. AFGI, 1992. Pagination multiple.
- [Aldanondo, 92] ALDANONDO, M. *Modélisation des données pour la planification et l'ordonnancement de la production : mécanismes d'agrégation et de désagrégation*. Thèse de doctorat : INSA de Toulouse, 1992. 183 p.
- [Allouche et Schmidt, 95] ALLOUCHE, J. et SCHMIDT, G. *Les outils de la décision stratégique*. Paris : Eds La Découverte, 1995. Tome 2, 125 p.
- [Ansoff, 89] ANSOFF, H. *Stratégie de développement de l'entreprise*. Paris : Ed. d'Organisation, 1989. 287 p.
- [Anthony et Dearden, 76] ANTHONY, R. et DEARDEN, J. *Management control system - text and cases*. Homewood (Illinois) : R. Irwin inc., 1976. 771 p.
- [Archimède, 91] ARCHMEDE, B. *Conception d'une architecture réactive distribuée et hiérarchisée pour le pilotage des systèmes de production*. Thèse de doctorat en automatique et informatique industrielle : université de Bordeaux I, 1991. 157 p.
- [Argyris et Schön, 78] ARGYRIS, C. et SCHON, D. *Organizational learning: a theory of action perspective*. Reading (Massachusetts) : Addison Wesley Publishing Company, 1978. 344 p.
- [Baillet, 94] BAILLET, P. *Contribution à l'amélioration de la réactivité dans les systèmes de production notamment par la mise en oeuvre des concepts de décentralisation des fonctions de décision*. Thèse de doctorat de l'Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix Marseille, 1994. 184 p.
- [Banaszak et Krogh, 90] BANASZAK, A.Z. et KROGH, B.H. Deadlock Avoidance in Flexible Manufacturing System with concurrently Competing Process Flows. *IEEE transaction on Robotics and Automation*, 1990, Vol. 6, N°6. p. 724-734.
- [Baranger et Chen, 94] BARANGER, P. et CHEN, J. *Management de la production et des opérations*. Paris : Editions Litec, 1994. 205 p.
- [Bergot et Grudzien, 95] BERGOT, M. GRUDZIEN, L. Sécurité et diagnostic des systèmes industriels, principaux concepts, méthodes, techniques et outils. *Diagnostic et Sécurité de Fonctionnement*, 1995, Vol.5, N° 3. p. 317-344.
- [Bernoux, 90] BERNOUX, P. *La sociologie des organisations*. Troisième édition revue et augmentée, Paris : éditions du Seuil, 1990. 378 p.
- [Berrah et al, 95] BERRAH, L., HAURAT, A., FOULLOY, L. *Modélisation de la performance : une approche par la logique floue des indicateurs de performance*. Actes du Congrès international de Génie Industriel Montréal (Canada), 1995, volume I, p. 499-509.

- [Beslon, 95] BESLON, G. *Contrôle sensori-moteur par réseaux neuromimétiques modulaires - Approche pour le Pilotage Réactif en Atelier Flexible*. Thèse de doctorat en Ingénierie Informatique : INSA de Lyon, 1995. 333 p.
- [Bitton et Doumeingts, 90] BITTON, M. et DOUMEINGTS, G. Conception de systèmes de mesure de performances: la méthode ECOGRAI. in *Gestion Industrielle et Mesure Economique*. Paris : ECOSIP Economica, 1990. p. 251-274.
- [Blackburn *et al*, 86] BLACKBURN, S.D. KROPP, D.H., MILLEN, R.A. a comparison of strategies to dampen nervousness in MRP systems. *Management Science*, 1986, vol 32, n°4. p. 413-429.
- [Boisvert, 85] BOISVERT, M. *L'organisation et la décision, les grands théoriciens de l'organisation*. Montréal : les éditions Agence d'ARC inc., 1985. 169 p.
- [Bond et Gasser, 88] BOND, A.H. et GASSER, L. *Readings in Artificial Intelligence*. San Mateo(CA) : Morgan Kaufmann Publisher inc., 1988. 649p.
- [Bonnefous, 94] BONNEFOUS, C. *Indicateurs de mesure et de pilotage d'un système de production: éléments de réflexion pour une approche non financière*. Dans les actes de l'université d'été du Pôle Productique Rhône-Alpes "Modélisation systémique en entreprise", septembre 1994, Pôle Productique Rhône-Alpes. Pagination multiple.
- [Braesch et Haurat, 94] BRAESCH, C. et HAURAT, A. *De la nécessité de maîtriser l'information*. Dans les actes de l'université d'été du Pôle Productique Rhône-Alpes "Modélisation systémique en entreprise", septembre 1994, Pôle Productique Rhône-Alpes. Pagination Multiple.
- [Brilman, 95] BRILMAN, J. *L'entreprise réinventée*. Paris : Les Editions d'Organisation, 1995. 319 p.
- [Brooks, 86] BROOKS, R.A. A robust Layered Control System for a Mobile Robot. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 1986, Vol. RA-2, n°1, p. 14-23.
- [Bureau, 96] Bureau de la planification. *Le réseau de l'université du Québec affiche ses couleurs*. Québec : université du Québec; 1996. 19 p
- [Burlat, 96] BURLAT, P. *Contribution à l'évaluation économique des organisations productives : vers une modélisation de l'entreprise compétence*. Thèse de doctorat en sciences économiques : Université Lyon 2, 1996. 391 p.
- [Camps *et al*, 94] CAMPS, V., CARPUAT, B., GLEIZES, MP., GLIZE, P., MACHONIN, A., PIQUEMAL-BALUARD, C., TROUILHET, S. *Vers l'intelligence artificielle collective*. [On-line] Dans les actes de la Journée Multi-Agents du PRC-IA, Paris, 16 déc. 1994. Pagination multiple. Available from internet (janvier 1996) : <URL : <http://www.irit.fr>>
- [Clermont *et al.*, 95] CLERMONT, P., ALDANONDO, M. et ARCHIMEDE, B. *Une structure d'activités en conception intégrée pour l'amélioration de la réactivité de l'atelier*. Congrès international de Génie Industriel Montréal 1995, vol 1, p 577-587.

- [Cohendet *et al.*, 92] COHENDET, P., LERENA, P. et MUTEL, P. Flexibilité et mise en cohérence des données de production. In *les nouvelles rationalisations de la production*. G. De Terssac et P. Dubois (Eds), Toulouse : Cépaduès Ed., 1992. p. 25-41.
- [Cohendet et Llerena, 90] COHENDET, P. et LLERENA, P. Flexibilité et évaluation des systèmes de production. In *Gestion Industrielle et Mesure Economique*. Paris : ECOSIP Economica, 1990. p 41-60.
- [Combes, 95] COMBES, M. *L'organisation qualifiante : idéal-type et conditions d'émergence; les enseignements d'une recherche dans l'aéronautique*. Thèse de doctorat : Ecole Centrale de Paris, 1995. 434 p.
- [Crozier et Friedberg, 77] CROZIER, M. FRIEDBERG, E. *L'acteur et le système*. Paris : Ed du Seuil, 1977. 437 p.
- [Daihani et Ardiwinata, 95] DAIHANI, D.U. et ARDIWINATA, J. *The application of the IDEA method in the indonesian companies : experience*. Congrès international de Génie Industriel Montréal 1995, Vol 2, p. 2089-2099.
- [Daihani, 94] DAIHANI, D.U. *Définition de propositions méthodologiques pour l'intégration des principales fonctions de décision dans un système de production*. Thèse de doctorat de l'Université de Droit, d'Economie et de Sciences d'Aix Marseille III, 1994. 187 p.
- [Dauzere-Peres, 92] DAUZERE-PERES, S. *Planification et ordonnancement de la production : une approche intégrée cohérente*. Thèse de doctorat : Université Paul Sabatier, Toulouse, 1992. 138 p.
- [De Terssac et Dubois, 92] DE TERSSAC, G., DUBOIS, P. Les rationalisations : quels choix pour quelles conséquences. In *Les nouvelles rationalisation de la production*. G. De Terssac et P. Dubois (Eds), Toulouse : Cépaduès Ed., 1992. p. XVII-XXXIX.
- [Denis, 90] DENIS, H. *Stratégies d'entreprise et incertitudes environnementales*. Ottawa : Editions Agence d'Arc inc, 1990. 328 p.
- [Dertouzos *et al.*, 90] DERTOUZOS, M. LESTER, R. SOLOW, R. *Made in America*. Paris : interéditions, 1990. 394 p.
- [Deslandres *et al.*, 97] DESLANDRES V., NEUBERT G., CAMPAGNE J.P., *ORGALEA : proactive architecture of production management systems*. Dans les proceedings de international conference on Industrial Engineering and Production Management (IEPM'97), Lyon, France, October 20-24, 1997. Vol. 2 p. 105-114.
- [Doumeingts et Ducq, 96] DOUMEINGTS, G. et DUCQ, Y. *Production management : Which future?* In the proceedings of the 6th IFIP TC5/WG5.7 International Conference on Advances in Production Management Systems, APMS'96, Kyoto (Japan), 4 - 6 Nov. 1996. p. 9-14.
- [Doumeingts et Vallespir, 91] DOUMEINGTS, G. Et VALLESPER, B. *Techniques de modélisation pour la productique*. In proceedings of the 23rd CIRP International seminar on Manufacturing Systems, Nancy (France), 6-7 Juin 1991, Tome 1, pagination multiple (10 p.).

- [DRN, 92] *Manuel sur le processus de gestion des ressources naturelles*. [On-line] Sans lieu : Environnement Canada, Service des parcs, Direction des Ressources Naturelles. édition 1992. 173p. Available from internet, mars 1997 : <URL : [http ://parkscanada.pch.gc.ca/maps](http://parkscanada.pch.gc.ca/maps)>
- [Durfee et Rosenschein, 94] DURFEE, E.H. et ROSENSCHEIN, J.S., *Distributed Problem Solving and Multi-Agent Systems : comparisons and examples*. In proceedings of the Thirteenth International Distributed Artificial Intelligence Workshop, july 1994. p. 94-104.
- [Erschler et Terssac, 88] ERSCHLER, J. et DE TERSSAC, G. *Flexibilité et rôle de l'opérateur humain dans l'automatisation intégrée de production*. Toulouse : rapport LAAS-CNRS, 1988.
- [Ferber, 95] FERBER, J. *Les systèmes Multi-Agents : vers une intelligence collective*. Paris : Éditions InterEditions, 1995. 552 p.
- [Ferguson, 95] FERGUSON, I.A. Integrated Control and Coordinated Behavior : a Case for Agent Models. In *Lecture Notes in Artificial Intelligence 890 : Intelligent Agents*. M Wolldrige et N.R. Jennings(Eds). Berlin : Springer-Verlag, 1995. p. 203-218.
- [Freyssenet, 92] FREYSSENET, M. Processus et formes sociales d'automatisation : le paradigme sociologique. *sociologie du travail*, 1992, n° 4, p. 469 - 496.
- [Ford, 25] FORD, H. *Ma vie et mon oeuvre*. Paris : Payot, 1925. 314 p.
- [Gallois, 90] GALLOIS, P.M. Evaluation et pilotage de la performance industrielle. In *Gestion Industrielle et Mesure Economique*. Paris : ECOSIP Economica, 1990. p 275-293.
- [Giard et Fray, 90] GIARD, V. et FRAY, C Du global au local : structure et coordination. In *Gestion Industrielle et Mesure Economique*. Paris : ECOSIP Economica, 1990. p. 215-233.
- [Giard, 88] GIARD, V. *Gestion de la production*. 2 ème édition, Paris : Ed. Economica, 1988. 1068 p.
- [Gille, 87] GILLE, B. *L'histoire des techniques*. Paris : Ed. Gallimard, 1987. 1652 p.
- [Gleizes et al, 94] GLEIZES, M.P., GLIZE, P., TROUILHET, S. Etude des lois de la conversation entre agents autonomes. *Revue Internationale de systémique*, 1994, vol8, n° 1. p. 39-50
- [Godet, 91a] GODET, M. *De l'anticipation à l'action*. Paris : éditions Dunod, 1991. 390 p.
- [Godet, 91b] GODET M. Les dangers de la (seule) réactivité. *Revue Française de Gestion*, novembre décembre 1991. p. 91-92.
- [Goldratt et Cox, 86] GOLDRATT, E.M. et COX, J. *Le but : l'Excellence en Production*. Paris : Afnor Gestion, 1986. 269 p.

- [Hatchuel, 96] HATCHUEL, A. Les axiomatiques de la production : éléments pour comprendre les mutations industrielles. In *La performance économique en entreprise*. JH Jacot et JP Micaelli coordonateurs, Paris : Hermès, 1996., p. 35-53.
- [Heran, 90] HERAN, F. Outils de gestion et modes d'organisation. *Gestion Industrielle et Mesure Economique*. Paris : ECOSIP Economica, 1990. p. 235-250.
- [Herzberg, 71] HERZBERG, F. *Le travail et la nature de l'homme*. Paris : Entreprise moderne d'édition, 1971. 215 p.
- [Hoc et Rogalsky, 92] HOC, J.M., ROGALSKY, J. Régulation des activités cognitives et gestion du risque par l'opérateur humain. In *les nouvelles rationalisations de la production*. G. De Terssac et P. Dubois (Eds), Toulouse : Cépaduès Ed., 1992. p. 147-167.
- [Hollard, 96] HOLLARD, M. Le marché, l'organisation et le juste-à-temps. In *La performance économique en entreprise*. JH Jacot JP et Micaelli coordonateurs, Paris : Hermès, 1996. p. 71-83.
- [Hubault, 93] HUBAULT, F. Le travail, ou l'interface anthropotechnologique à l'épreuve, *Performances Humaines et Techniques*, hors série septembre 1993, p.2 - 11
- [Jacot et al, 94] JACOT, J.H., JUBIN, M. et GUYOT, P. *Indicateurs de Suivi d'Action Correctives pour la Sous-Traitance en Mécanique, la méthode H.O.M.E.* St Etienne : ECT/CETIM, 1994. 40 p. Projet Région Rhône-Alpes.
- [Jacot et Micaelli, 96] JACOT, J.H., MICAELLI, J.P. La question de la performance globale. In *La performance économique en entreprise*. JH Jacot et JP Micaelli coordonateurs, Paris : Hermès, 1996. p. 16-33.
- [Jacot, 90] JACOT, J.H. A propos de l'évaluation économique des systèmes intégrés de production. In *Gestion Industrielle et Mesure Economique*. Paris : ECOSIP Economica, 1990. p. 61-70.
- [Jacot, 94] JACOT, J.H. *Formes anciennes formes nouvelles d'organisation*. Lyon : Presses Universitaires de Lyon, 1994. 233 p.
- [Kallel, 85] KALLEL, G. *Proposition d'un Conduite Décentralisée Coordonnée (CODECO) pour un atelier de fabrication*. Thèse de doctorat, INP Grenoble, 1985. 185 p.
- [Kuhlmann et al, 97] KUHLMANN, T. LAMPING, R. And MASSOW, C. *Agent-based interorganisational workflow*. In the proceedings of IFAC/IFIP Conference on Management and Control of Production and Logistics (MCPL'97), Campinas,SP (Brazil), August 31-September 3, 1997. Volume 1, p. 1-7
- [Kusiak, 93] KUSIAK, A. *Concurrent Engineering*. New York : A. Kusiak Editor, John Wiley & Sons Inc., 1993. 589 p.
- [Lawrence et Lorsch, 69] LAWRENCE, P.R. et LORSCH, J.W. *Developing organizations*. Reading (MA) : Addison-Wesley Publishing Company, 1969. 101 p.



- [Laprie, 89] LAPRIE, J.C. Sûreté de Fonctionnement et tolérance aux fautes. *Techniques de l'Ingénieur*, H.4.450, sept 89. 12 p.
- [Le Moigne, 84] LE MOIGNE, J.L. *La théorie du système général, théorie de la modélisation*. Deuxième édition, Paris : PUF, 1984. 338 p.
- [Le Moigne, 90] LE MOIGNE, J.L. *La modélisation des systèmes complexes*. Paris : Ed. Dunod, 1990. 178 p.
- [Lee, 95] LEE, J. Machine performance monitoring and proactive maintenance in computer-integrated manufacturing: review and perspective. *International Journal of computer integrated manufacturing*, 1995, vol. 8, No. 5, p. 370-380.
- [Leroy et Signoret, 92] LEROY, A. et SIGNORET, JP. *Le risque technologique*. Que sais-je, Paris : Presses Universitaires de France, 1992. 127 p.
- [Levitt et March, 88] LEVITT, B. et MARCH, J.G. Organizational learning. *Annual review of sociology*, 1988, n°14. p. 319-340.
- [Li et Wonham, 93] LI, Y. et WONHAM, W.M. Control of vector discrete-event system I - the base model. *IEEE transaction on Automatic Control*, 1993, Vol. 38, N°8, p. 1214-1227.
- [Li et Wonham, 94] LI, Y. et WONHAM, W.M. Control of vector discrete-event system II - Controller Synthesis. *IEEE transaction on Automatic Control*, 1994, Vol. 39, N°3, 1994, p. 512-531.
- [Lorino, 91] LORINO, P. *L'économiste et le manager*. Paris : Ed. La découverte, 1991. 227 p.
- [Lorino, 91] LORINO, P. *Le contrôle de gestion stratégique*. Paris : Ed Dunod entreprise, 1991. 213 p.
- [Lorino, 95] LORINO, P., *Comptes et Récits de la Performance, Essai sur le pilotage de l'Entreprise*. Paris : Les Editions d'Organisation, 1995. 288 p.
- [Madnick, 95] MADNICK, S.E. La plate-forme des technologies de l'information. In *L'entreprise compétitive au futur, technologies de l'information et transformation de l'organisation*. Sous la direction de Michael S Scott Morton, Paris : les éditions d'organisation, 1995. p. 31-70.
- [March et Simon, 69] MARCH, J.G. et SIMON, H.A. *Les organisations*. Paris : éd. Dunod, 1969. 253 p.
- [Meilhan, 95] MEILHAN, J. Amélioration des performances : PMI, comment définir un tableau de bord à vos mesures. *L'usine nouvelle*, 1995, n°2523, 9 nov. p. 4-5 et 86-88.
- [Ménard, 93] MENARD, C. *L'économie des organisation*. Paris : Ed. La découverte, 1993. 126 p.

- [Mercé, 87] MERCE, C. *Cohérence des décisions en planification hiérarchisée*. Thèse d'état : Sciences, Université Paul Sabatier, Toulouse, 1987. 179 p.
- [Mévellec, 93] MEVELLEC, P. Plaidoyer pour une vision française de la méthode ABC. *Revue Française de Comptabilité*, déc. 1993.
- [Mévellec, 96a] MEVELLEC, P. Modèle d'entreprise et système de calcul de coûts. In *Cohérence, Pertinence et Evaluation*. P. Cohendet, JH Jacot et P. Lorino (Eds), Paris : ECOSIP Economica 1996. p. 181-206.
- [Mévellec, 96b] MEVELLEC, P. Chapitres 6 et 7 : La comptabilité à base d'activités : principes et mise en œuvre. In *La performance économique en entreprise*. JH Jacot et JP Micaelli coordonateurs, Paris : Hermès, 1996.. p. 93-123.
- [Mhamedi *et al*, 95] MHAMEDI, A.L., LERCH, C., MAGANO, H., SONNTAG, M. *Analyse des systèmes de production par les activités : une approche pluridisciplinaire*. Congrès international de Génie Industriel Montréal 1995, Vol 1, p. 141-151.
- [Micaelli, 94] MICAELLI, J.P. *Pour une microéconomie comme théorie de l'action : modélisation et conception des systèmes de production*. Thèse de doctorat en sciences économiques, Université Lyon 2, 1994. 417 p.
- [Mintzberg, 90] MINTZBERG, H., *Le management, voyage au centre des organisations*. Paris : les éditions d'organisation, 1990. 570 p.
- [MOPIC, 97] *rapport de recherche final du projet MOPIC (MOdélisation des performances pour le Pilotage à Court terme d'un système de production) à la région Rhône-Alpes*. H. Haurat (Coord.), Annecy : LLP/CESALP-ESIA, juin 1997, Annexe 3. Pagination multiple.
- [Morgan, 89] MORGAN, G. *Images de l'organisation*. Laval (Québec) : Eds Eska, 1989. 210p.
- [Müller *et al.*, 1995] MULLER, J.P., PISCHEL, M. et THIEL, M. Modeling reactive behaviour in vertically layered Agent architecture. In *Lecture Notes in Artificial Intelligence 890 : Intelligent Agents*. M Wolldrige et N.R. Jennings(Eds), Berlin : Springer-Verlag, 1995. p. 261-276.
- [Neubert *et al*, 94] NEUBERT, G., GHROUD, S., CALVIER, J.P., MARTINEZ, M. Pilotage des systèmes de production : une approche globale. *Revue d'automatique et de productique appliquées (RAPA)*, 1994, vol 7, n°5, p. 619-626.
- [Neubert et Campagne, 95] NEUBERT, G. et CAMPAGNE, J.P. *Perturbations' Management : a case study*. In the proceedings of the 3rd IFAC/IFIP/IFORS Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, IMS'95, Bucharest (Romania), 24-26 octobre 1995. p. 269-274.
- [Neubert et Campagne, 96a] NEUBERT, G. et CAMPAGNE, J.P. *Gestion des Aléas: vers une approche méthodologique*. Dans les actes du 5ème congrès International de Génie Industriel, GI 5, Grenoble, 2-4 Avril 1996, Tome III, p. 137-145.

- [Neubert et Campagne, 96b] NEUBERT, G. et CAMPAGNE, J.P. *New management systems : towards proactive factories*. In the proceedings of the 6th IFIP TC5/WG5.7 International Conference on Advances in Production Management Systems, APMS'96, Kyoto (Japan), 4 - 6 Nov. 1996. p. 431-434.
- [Neubert et Campagne, 97] NEUBERT, G. et CAMPAGNE, J.P. Enterprise modeling : the Agent/Activity model. A paraitre dans special issue of the Journal *Mathematical Modeling and Scientific Computing*, 1997, Vol.8, (ISSN 1067-0688).
- [Neubert et al, 97] NEUBERT, G., REZG, N., CAMPAGNE, J.P. *Supervisory control: towards a proactive attitude*. In the preprints of IFAC/IFIP Conference on Management and Control of Production and Logistics (MCPL'97), Campinas,SP (Brazil), August 31-September 3, 1997. Volume 2, p. 400-405.
- [Noubissié-Tchako, 94] NOUBISSIE-TCHAKO, J.F. *Contribution à la conception d'un système de pilotage distribué pour les systèmes automatisés de production*. Thèse de doctorat en Automatique et Informatique humaine : Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 1994. 180 p.
- [Okongwu, 90] OKONGWU, U. *Contribution à la formalisation du concept de flexibilité des systèmes industriels, étude de cas pratique*. Thèse de doctorat : INP Lorraine, 1990. 429 p.
- [ORGALEA, 96] *rapport d'activité du projet ORGALEA ( Organiser les Ressources et Gérer les ALEAs) de la deuxième année à la Région Rhône-Alpes*. J-H. Jacot (Coord.), Lyon : ECT-Université Lumière Lyon2, Avril 1996. 149 p.
- [ORGALEA, 97] *rapport final du projet ORGALEA ( Organiser les Ressources et Gérer les ALEAs) à la Région Rhône-Alpes*. J-H. Jacot (Coord.), Lyon : ECT-Université Lumière Lyon2, juin 1997. 194 p.
- [Ouzrout, 96] OUZROUT, Y. *Modélisation et Simulation d'Organisations Productives Réactives : Une Approche Multi-Agents*. Thèse de Doctorat en ingénierie informatique : INSA de Lyon, 1996. 281p.
- [Parunak, 96] PARUNAK, H.V.D. Applications of Distributed Artificial Intelligence in Industry. In *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*. G.M.P. O'Hare et N.R. Jennings (Eds), New York (USA) : John Wiley & Sons Publication, 1996. p. 139-164.
- [Pave, 92] PAVE, F. L'inéluctable dimension politique des systèmes de production. In *Les nouvelles rationalisations de la production*. G. De Terssac et P. Dubois (Eds), Toulouse : Cépaduès Ed., 1992. p. 107-120.
- [Pellet, 85] PELLET, X. *Sur la hiérarchisation des décisions. Application à la conduite d'ateliers*. Thèse de doctorat : INP Grenoble, 1985. 180 p.

- [Perrin et Micaelli, 96] PERRIN, J. et MICAELLI, J.P. *De l'information à l'économie de l'apprentissage : perspective historique*. Dans les actes de l'université d'été du Pôle Productique Rhône-Alpes, "intégration du savoir faire, capitalisation des connaissances", Aussois, septembre 1996, Pôle Productique Rhône-Alpes. Pagination multiple.
- [Pierreval, 90] PIERREVAL, H. *Les méthodes d'analyse et de conception des systèmes de production*. Paris : Editions Hermès, 1990. 62 p.
- [Pourcel, 93] POURCEL, C., LEROY, R., GAFFIE, P. Conception d'un atelier flexible : problèmes posés par la mise en oeuvre de la traçabilité. Dans *La traçabilité nouvelle composante de la qualité*, journées d'études, salon productique 93, 25 Nov. 1993, Paris Villepinte. p. 39-43
- [Ramadge et Wonham, 87] RAMADGE, J.G. et WONHAM, W.M. Supervisory control of class of discrete event processes. dans *SIAM J. Control and Optimization*, 1987, Vol. n°25, p. 206-230.
- [Ramadge et Wonham, 88] RAMADGE, J.G. et WONHAM, W.M. Modular supervisory control of discrete event systems, *Mathematic control, Signals and Systems*, 1988, Vol.1, n°1, p. 13-30.
- [Rezg et al., 97a] REZG, N., NEUBERT, G. et FAVREL, J. *Proactive Supervision Control in Discrete-Event Systems Using Petri Nets*. Dans les proceedings de IEEE 6th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA'97, Los Angeles, USA, Sept. 9-12, 1997. p. 275-280
- [Rezg et al., 97b] REZG, N., NEUBERT, G. et CAMPAGNE, J.P. *Deadlock Avoidance in Flexible Manufacturing Systems Using Proactivity Supervision Control Based on Concurrent Process Flows*. Dans les proceedings de international conference on Industrial Engineering and Production Management (IEPM'97), Lyon, France, October 20-24, 1997. Vol. 2, p. 226-235.
- [Rezg, 96] REZG, N. *Contribution à la Sécurité Opérationnelle des Systèmes : Mise en Oeuvre d'une Structure de Surveillance Basée sur les Réseaux de Petri Objets Contrôlés*. thèse de Doctorat en Automatique Industrielle : INSA de Lyon, 1996. 135 p.
- [Sen et Durfee, 94] SEN S. et DURFEE, H.D. *the role of commitment in cooperative negociation*. [On-line] In proceedings of the second International Conference on cooperative Information Systems, mai 1994. p. 235-242. Available from internet (janvier 1996) : <URL :<http://ai.eecs.umich.edu/people>>.
- [Taylor, 57] TAYLOR, F.W. *La direction scientifique des entreprises*. Paris-Verviers : éditions Marabout, 1957-1967. 319 p.
- [Thompson, 67] THOMPSON, J.D. *Organization in action*. New York : Mc Graw-Hill book Co., 1967. 192 p.

- [Vernadat, 97] VERNADAT, F. *A process/Agent/Operation paradigm for manufacturing Systems Modelling*. In the proceedings of IFAC/IFIP Conference on Management and Control of Production and Logistics (MCPL'97), Campinas, SP (Brazil), August 31-September 3, 1997. Volume 2, p. 412-419.
- [Villemeur, 88] VILLEMEUR, A. *Sûreté de Fonctionnement des systèmes industriels*. Paris : Ed. Eyrolles, 1988. 795 p.
- [Weber, 63] WEBER, M. *Le Savant et le politique*. Paris : UGE-Plon, Coll. 10-18, 1963.
- [Womack et al, 92] WOOMACK, J.P., JONES, D.T. et ROOS, D. *Le système qui va changer le monde*. Paris : éditions Dunod, 1992. 349 p.
- [Woodward,65] WOODWARD, J. *Industrial organization, theory an practice*. Londres : Oxford University Press, 1965. 281 p.
- [Wooldridge et Jennings, 95] WOOLDRIDGE, M.J., JENNINGS, N.R. *Agent theories, Architectures, and Languages: a Survey*. in proceedings of ECAI94 Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages, Amsterdam, the Netherlands August 8-9, 1994, Berlin : Springer-Verlag Editions, 1994. p. 1-39.
- [Zalesznik, 1975] ZALEZNIK ,A. et MFR KETS DE VRIES., *Power and corporate mind*. Boston: Houghton Mifflin Co., 1975.
- [Zaytoon, 96] ZAYTOON, J. *Extension de l'analyse fonctionnelle à l'étude de la sécurité opérationnelle des systèmes automatisés de production*. Thèse de Doctorat de l'INSA de Lyon, 1993. 228 p.

## **Liste des figures**

## Liste des figures

### Chapitre 1.

figure 1. Synoptique de la thèse .....	21
figure 1.1. Du contrôle au pilotage.....	30
figure 1.2. Du contrôle au pilotage .....	33
figure 1.3. Courbe d'apprentissage dans le modèle classique .....	44

### Chapitre 2.

figure 2.1. Flexibilité potentielle et flexibilité opérationnelle .....	63
figure 2.2. Ancienne et nouvelle exigence du pilotage du système de production [ORGALEA, 97] .....	65
figure 2.3. Augmentation de la réactivité par extension de l'ensemble des possibilités .....	74
figure 2.4. Modification du niveau réactif par adaptation du jeu de règles .....	75
figure 2.5. Modification des possibilités par réorganisation des ressources.....	76
figure 2.6. Modèle synthétique de l'architecture de pilotage d'une activité .....	77

### Chapitre 3.

figure 3.1. Etats de service d'un point de vue SdF .....	83
figure 3.2. Aléa : une approche orientée Sûreté de Fonctionnement .....	85
figure 3.3. Evaluation de la performance : un système dual [Mévellec, 96b].....	87
figure 3.4. Evaluation de la performance .....	88
figure 3.5. Typologie des objectifs relative à la décision.....	90
figure 3.6. L'enchâssement des objectifs relatifs aux ressources .....	91
figure 3.7. Représentation matricielle des typologies objectifs/indicateurs.....	95
figure 3.8. Le triangle d'or du pilotage [Lorino, 91] .....	96
figure 3.9. Exemple d'analyse causale des aléas suivant la déclinaison des objectifs.....	99
figure 3.10. La noria de la proaction .....	103

**Chapitre 4.**

figure 4.1. Le paradigme systémique .....	110
figure 4.2. Le système d'information comme interface .....	111
figure 4.3. Le système d'information en parallèle .....	112
figure 4.4. Le système d'information réparti .....	112
figure 4.5. Symbolisation de l'activité.....	117
figure 4.6. Deux types d'architecture multi-niveaux .....	124

**Chapitre 5.**

figure 5.1. Activité multi-acteurs .....	133
figure 5.2. Acteur multi-activités .....	133
figure 5.3. Une vision conceptuelle de l'agent : le modèle Agent / Activité.....	134
figure 5.4. Traitement et comportement.....	142
figure 5.5. Agents et organisation proactive .....	144
figure 5.6. Proactivité et traitement des événements.....	153
figure 5.7. Proactivité et apprentissage .....	154

**Chapitre 6.**

figure 6.1. Principe de la commande par supervision .....	160
figure 6.2. Une architecture de pilotage par supervision proactif à deux niveaux.....	162
figure 6.3. Une représentation agent (simplifiée) du pilotage par supervision .....	163
figure 6.4. Exemple .....	166
figure 6.5. Traduction des objectifs.....	168
figure 6.6. Principe de fonctionnement de la commande par supervision .....	169
figure 6.7. Synoptique du modèle agent du système de production.....	170
figure 6.8. Modèle agent d'une station de travail .....	171
figure 6.9. Modèle RdP détaillé du SED .....	171
figure 6. 10. Régulation de l'agent i-1 par contrôle de la transition $\alpha_{i-1}^j$ .....	175
figure 6.11. Modification de la structure.....	176
figure 6.12. Modèle RdP du processus de production d'un produit q. ....	181
figure 6.13. FMS avec quatre stations de travail.....	182
figure 6.14. Modèle RdP de la séquence de production du produit q .....	183



**Chapitre 7.**

figure 7.1. Modèle Agent/Activité de l'organisation.....	195
figure 7.2. Base de données partagées et exploitation collective des connaissances.....	198
figure 7.3. Synoptique des différents modes d'évaluation des situations à risque .....	205
figure 7.4. Les différents niveaux d'analyse des écarts .....	210
figure 7.5. Modélisation du processus de constitution des marges .....	212

## **Table des matières**



## Table des matières

---

**INTRODUCTION GENERALE 15**

---

1. INTRODUCTION -----	17
2. METHODE SUIVIE-----	19
3. ORGANISATION DE LA THESE -----	20

**CHAPITRE 1 : PILOTAGE DES ACTIVITES ET NOUVELLES FORMES D'ORGANISATION 22**

---

1. INTRODUCTION -----	24
2. PILOTAGE DU SYSTEME DE PRODUCTION -----	25
2.1 Le paradigme du contrôle-----	25
2.2 Le paradigme du pilotage -----	28
2.3 Du contrôle au pilotage -----	30
2.4 Pilotage : conclusions -----	34
3. DU SYSTEME PRODUCTIF A L'ORGANISATION PRODUCTIVE-----	34
3.1 Des axiomatiques variées -----	34
3.2 Organisation : quelques précisions sémantiques-----	36
3.3 Organisation et structures de pilotage du système physique -----	39
3.3.1 Architecture hiérarchisée -----	39
3.3.2 Architecture décentralisée-----	40
3.3.3 Conclusion sur l'organisation des structures de pilotage du système physique-----	41
4. DES FORMES D'ORGANISATION CONTINGENTES -----	41
4.1 Le modèle d'organisation taylorien -----	42
4.1.1 Division du travail et interactions -----	42
4.1.2 Décision et apprentissage -----	43
4.1.3 Flexibilité-----	44
4.1.4 Conclusion -----	44
4.2 Les nouvelles formes d'organisations -----	45
4.2.1 Le courant psycho-sociologique-----	46
4.2.2 De l'enrichissement des tâches aux organisations enrichissantes -----	47
4.2.3 L'acteur au centre de l'organisation -----	47
4.2.4 Les organisations qualifiantes et apprenantes -----	50
5. CONCLUSION -----	53

**CHAPITRE 2 : ACTIVITE, REACTIVITE ET PROACTIVITE 56**

---

1. INTRODUCTION -----	58
2. FLEXIBILITE DES SYSTEMES DE PRODUCTION -----	58
2.1 Flexibilité potentielle -----	59
2.2 Flexibilité opérationnelle -----	61
3. REACTIVITE ET PILOTAGE -----	62
4. PROACTIVITE : UN CONCEPT ENCORE MAL DEFINI-----	66

## Table des matières

---

4.1 Proactivité et stratégies d'entreprise -----	66
4.2 Proactivité et décision publique -----	68
4.2.1 Le cas de la planification -----	68
4.2.2 Le cas de la définition d'une politique universitaire -----	68
4.3 Proactivité et décisions opérationnelles -----	70
4.3.1 Domaine de la maintenance -----	70
4.3.2 Domaine des systèmes d'information -----	71
4.4 Proactivité et Intelligence Artificielle -----	72
4.5 Proactivité : conclusions -----	72
5. PROACTIVITE ET PILOTAGE DES ACTIVITES -----	73
5.1 Enrichissement des modèles -----	74
5.2 Choix des règles -----	74
5.3 Organisation des ressources -----	75
6. MODELE SYNTHETIQUE D'UNE ARCHITECTURE DE PILOTAGE REACTIF ET PROACTIF -----	76
7. CONCLUSION -----	77

---

### **CHAPITRE 3 : GESTION DES ALEAS ET PILOTAGE DE LA PERFORMANCE** **80**

---

1. INTRODUCTION -----	82
2. PERFORMANCE INDUSTRIELLE ET GESTION DES ALEAS -----	82
2.1 Sûreté de Fonctionnement -----	82
2.2 Aléas : définition -----	83
2.3 Aléas : vers une représentation méthodologique -----	85
3. PILOTAGE ET EVALUATION DE LA PERFORMANCE INDUSTRIELLE -----	86
3.1 Évaluation des performances -----	87
3.2 Objectifs -----	89
3.3 Indicateurs de performance -----	91
3.3.1 Définition -----	91
3.3.2 Typologies des indicateurs de performances -----	93
3.4 Indicateurs et pilotage -----	96
3.4.1 Le triangle d'or du pilotage -----	96
3.4.2 Les indicateurs comme représentations anticipatrices -----	97
3.5 Les difficultés de cohérence -----	99
3.5.1 Indicateurs et référentiel -----	99
3.5.2 Indicateurs et variables d'action -----	100
3.5.3 Indicateurs et systèmes d'indicateurs -----	100
4. PROACTIVITE ET GESTION DES ALEAS -----	101
5. CONCLUSION -----	104

---

### **CHAPITRE 4 : BASES D'UNE MODELISATION DES ORGANISATIONS PRODUCTIVES** **105**

---

1. INTRODUCTION -----	107
2. DEMARCHE ET FINALITES DE LA MODELISATION -----	108
2.1 L'approche cartésienne -----	109
2.2 L'approche systémique -----	109
2.3 Vers une décomposition en sous-systèmes -----	110
2.3.1 Le système d'information en interface -----	111
2.3.2 Le système d'information en parallèle -----	111
2.3.3 Le système d'information réparti -----	112

## Table des matières

---

2.3.4 Vers des modèles intégrés pour la productique-----	113
2.4 Modélisation objet-----	113
2.5 Conclusion-----	114
3. MODELISATION ET ACTIVITE-----	115
4. LE MODELE AGENT -----	118
4.1 Présentation-----	119
4.2 Les apports de l'IAD-----	120
4.2.1 Agent et Système Multi-Agents -----	121
4.2.2 Les agents réactifs-----	122
4.2.3 Les agents cognitifs -----	123
4.2.4 Les agents hybrides -----	123
4.2.5 Agent et apprentissage-----	125
4.3 Modèle agent et systèmes de production -----	125
5. CONCLUSION -----	126

---

### **CHAPITRE 5 : LE MODELE AGENT/ACTIVITE POUR UNE REPRESENTATION DU PILOTAGE PROACTIF ET REACTIF**

**129**

---

1. INTRODUCTION -----	131
2. UN MODELE AGENT / ACTIVITE -----	131
2.1 Agent-Activité : une relation non biunivoque-----	132
2.2 Modèle conceptuel Agent/Activité -----	133
3. PROACTIVITE, REACTIVITE ET MODELE AGENT/ACTIVITE -----	135
3.1 Traitement de l'information et comportement-----	135
3.2 Traitement de l'information-----	136
3.2.1 Niveau réflexe -----	136
3.2.2 Niveau cognitif -----	137
3.2.3 Couplage des traitements-----	138
3.2.4 Connaissances, compétences-----	139
3.3 Comportement : réactif et proactif-----	140
3.3.1 Comportement réactif-----	141
3.3.2 Comportement proactif -----	141
3.4 Insertion de l'agent dans l'organisation-----	142
4. AGENT ET ORGANISATION : LES COMMANDEMENTS DE LA PROACTIVITE. -----	145
4.1 Evaluation de la proactivité-----	145
4.1.1 Evaluation de la capacité d'anticipation -----	145
4.1.2 Evaluation de la capacité d'apprentissage -----	146
4.1.3 De l'évaluation à la recommandation -----	147
4.2 Les commandement de l'organisation proactive -----	147
4.2.1 Anticiper-----	147
4.2.2 Capitaliser -----	148
4.2.3 Avant, pendant, après : apprendre-----	149
4.3 Les commandements de l'agent proactif -----	150
4.3.1 Anticiper-----	151
4.3.2 Capitaliser -----	153
4.3.3 Agent : conclusions -----	154
5. CONCLUSION -----	155

---

### **CHAPITRE 6 : PILOTAGE PAR SUPERVISION DES SYSTEMES A ÉVENEMENTS DISCRETS**

**157**

## Table des matières

---

1. INTRODUCTION -----	159
2. ARCHITECTURE D'UN PILOTAGE PAR SUPERVISION REACTIF ET PROACTIF -----	160
2.1 De la commande par supervision des SED...-----	160
2.2 ...Au pilotage par supervision des SED -----	161
2.3 Vers des modèles formels-----	162
2.4 Vecteur d'état -----	164
2.4.1 Définition formelle d'un vecteur d'état-----	165
2.4.2 Représentation formelle d'un SED-----	165
2.4.3 Exemple -----	165
2.5 Événement contrôlable et incontrôlable -----	167
2.6 Prédicat-----	167
2.7 Fonction de supervision-----	168
3. APPLICATION DU PILOTAGE PAR SUPERVISION-----	170
3.1 Pilotage par ajustement de règles -----	170
3.1.1 Modélisation formelle des agents -----	172
3.1.1.1 Agents 1, 3, 5, 7 : station de travail-----	172
3.1.1.2 Agent 9 : contrôle qualité-----	173
3.1.1.3 Agents 2, 4, 6, 8 : stocks tampons -----	173
3.1.1.4 Modélisation globale du SED -----	174
3.1.2 Règle de commande du niveau réactif du superviseur-----	174
3.1.3 Elaboration du niveau proactif-----	175
3.1.4 Conclusion sur l'ajustement de règles-----	177
3.2 Pilotage par intervention directe -----	178
3.2.1 Présentation du problème -----	178
3.2.2 Modélisation des processus parallèles -----	179
3.2.3 Exemple de blocage avec un seul produit -----	181
3.2.4 Règle de commande du niveau réactif-----	184
3.2.5 Pilotage du niveau proactif-----	184
3.2.6 Application à l'exemple présenté en 3.2.3-----	187
3.2.7 Conclusion sur l'intervention directe-----	188
4. CONCLUSION -----	188
<b>CHAPITRE 7 : PROACTIVITE ET AIDE AU PILOTAGE STRATEGIQUE</b>	<b>190</b>
<hr/>	
1. INTRODUCTION -----	192
2. FONDEMENTS D'UNE ORGANISATION PROACTIVE ET REACTIVE ; AIDE AU PILOTAGE STRATEGIQUE -----	194
2.1 Modélisation à un niveau macroscopique de l'organisation -----	194
2.2 Vers un support collectif de l'information -----	196
3. FOCALISATION SUR L'AGENT "COMITE DE DIRECTION" -----	198
3.1 Définition des objectifs de l'étude -----	199
3.2 Caractérisation du fonctionnement nominal-----	200
3.2.1 Processus d'agrégation pour la détermination du résultat-----	201
3.2.1.1 Axe production-----	201
3.2.1.2 Axe marché -----	202
3.2.2 Variables caractérisant le fonctionnement nominal-----	202
3.3 Formalisation des processus d'identification des situations à risques -----	203
3.4 Démarche d'identification-----	205
3.5 Remarque -----	206
4. ANALYSE DETAILLEE DE L'AGENT COMITE DE GESTION -----	207
4.1 Vue économique de la performance industrielle-----	208
4.2 Structuration des charges -----	208
4.3 Niveaux d'analyse des écarts -----	208
4.4 Agent "comité de gestion" et maîtrise des aléas -----	211

---

## Table des matières

---

4.4.1 Analyse des résultats-----	213
4.4.1.1 Modification du contexte -----	213
4.4.1.2 Non respect des contrats -----	213
4.5 Conclusion-----	214
5. CONCLUSION SUR CETTE APPLICATION INDUSTRIELLE -----	215
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>219</b>
<hr/>	
1. ORIGINE DES TRAVAUX-----	221
2. DES CONCEPTS A LEUR APPLICATION -----	221
3. LIMITES DE LA RECHERCHE -----	224
4. PERSPECTIVES -----	225
<b>LEXIQUE</b>	<b>227</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>233</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>245</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>249</b>

---