

N° d'ordre : 2774..

# THÈSE

présentée à

**L'UNIVERSITÉ BORDEAUX 1**

ÉCOLE DOCTORALE DE PHYSIQUE ET SCIENCES DE L'INGENIEUR

par **Paul Eric Mitondji DOSSOU**

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR

SPÉCIALITÉ : **AUTOMATIQUE, PRODUCTIQUE, SIGNAL ET IMAGE**

---

**MODELISATION DES RAISONNEMENTS POUR L'AIDE A  
LA CONCEPTION DES SYSTEMES DE PRODUCTION DANS  
UN ENVIRONNEMENT GRAI**

---

Soutenue le : 18 DECEMBRE 2003

Après avis de :

**M. BERNARD GRABOT**.....**Rapporteur**

Professeur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes,

**M. JOEL FAVREL** **Rapporteur**

Professeur à l'INSA de Lyon

Devant la commission d'examen formée de :

**MM. JEAN-PAUL BOURRIERES**, Professeur à l'Université Bordeaux 1 **Président**

**ROGER BERTIN**, Maître de conférences à l'Université Bordeaux 1 **Rapporteur**

**JOEL FAVREL**, Professeur à l'INSA de Lyon **Examineurs**

**BERNARD GRABOT**, Professeur à l'ENI de Tarbes

**GUY DOUMEINGTS**, Professeur à l'Université Bordeaux 1

**DAVID CHEN**, Maître de conférences à l'Université Bordeaux 1

**THOMAS DESPOIX**, Ingénieur à Graisoft.....



## Remerciements

Les travaux présentés dans cette thèse ont été menés au Laboratoire d'Automatique, Productique, Signal et Image (LAP) de l'Université de Bordeaux I. A ce titre, je tiens à remercier Monsieur Alain OUSTALOUP, Professeur à l'ENSEIRB, actuel Directeur du LAP pour m'avoir permis d'accomplir cette thèse dans des conditions idéales.

Je tiens à remercier chaleureusement Monsieur Jean-Paul BOURRIERES, Professeur à l'Université Bordeaux I, Directeur adjoint du LAP pour sa disponibilité, son soutien et pour avoir accepté d'être membre de mon jury de thèse.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Monsieur Guy DOUMENGETS, Professeur à l'Université Bordeaux I, Directeur technique et marketing de la société GRAISOFT, pour avoir encadré ce travail de thèse et m'avoir donné l'occasion de travailler au sein de son équipe.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Messieurs David CHEN et Roger BERTIN, Maîtres de conférence à l'Université Bordeaux I pour leurs conseils avisés et leur soutien tout au long de ces années de thèse.

Je souhaite remercier vivement Monsieur Joel FAVREL, Professeur à l'INSA de Lyon et Monsieur Bernard GRABOT, Professeur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes pour avoir accepté d'être les rapporteurs de cette thèse.

Je remercie également Monsieur Thomas DESPOIX, Ingénieur à Graisoft, pour avoir accepté de participer à mon jury de thèse.

Je tiens à remercier tous les membres du LAP (et en particulier ceux de l'équipe GRAI) pour la cordialité dont ils ont fait preuve à mon égard. Je ne remercierai jamais assez Séverine, Magali, Matthieu, Jean-christophe, Philippe, Bruno.

Toute ma gratitude va également à Magali, Sylvianne, Virginie, Julien et Denis pour tous les agréables et studieux moments passés à Graisoft. Je pense pour les mêmes raisons à toute l'équipe de l'IUT d'Agen ainsi que celle de l'UFM d'Aquitaine.

Je remercie également Monsieur Robert STAHL ainsi que toute l'équipe des permanents de l'IST-Vendée (particulièrement l'équipe Automatique) pour m'avoir soutenu et aider à gérer les moments difficiles de la fin de thèse ainsi que pour leur cordialité à mon égard.

Sylvie, Thècle, Huguette, Cynthia, Laurence, Aurélie, Henri, Stéphane, Sébastien, Yves, Ashkan et Gilles savent que je leur serai éternellement reconnaissant pour leur sincérité et leur fidélité en amitié.

A ma femme, mes parents et mon fils, je voudrais redire tout mon amour : ce fut très long et parfois douloureux, mais j'y suis arrivé grâce à votre amour, vos encouragements, votre patience et vos prières !



## SOMMAIRE GENERAL

<u>INTRODUCTION GENERALE</u> .....	9
<u>CHAPITRE 1</u> .....	15
1.1 <u>Introduction au chapitre 1</u> .....	19
1.2 <u>Problématique de conception de systèmes de production</u> .....	20
1.3 <u>Méthodologie GRAI</u> .....	24
1.4 <u>Problématique d'aide à la conception de système de production</u> .....	38
1.5 <u>Conclusion</u> .....	42
<u>CHAPITRE 2</u> .....	45
2.1 <u>Introduction</u> .....	49
2.2 <u>Théories de la conception</u> .....	50
2.3 <u>Outils informatiques d'aide existants pour la méthodologie GRAI</u> .....	55
2.4 <u>Acquisition des Connaissances et techniques d'Intelligence Artificielle</u> .....	59
2.5 <u>Les principales méthodes de raisonnement et de résolution de problèmes</u> .....	63
2.6 <u>Conclusion</u> .....	66
<u>CHAPITRE 3</u> .....	69
3.1 <u>Introduction</u> .....	73
3.2 <u>Modélisation des connaissances en conception de systèmes de production</u> .....	74
3.3 <u>Conclusion</u> .....	94
<u>CHAPITRE 4</u> .....	97
4.1 <u>Introduction</u> .....	101
4.2 <u>Processus de conception global</u> .....	102
4.3 <u>Conception du système décisionnel</u> .....	105
4.4 <u>Conclusion</u> .....	122
<u>CHAPITRE 5</u> .....	125
5.1 <u>Introduction</u> .....	129
5.2 <u>Architecture de GRAIXpert</u> .....	130

<a href="#">5.3</a>	<a href="#">Raisonnements utilisés dans la phase de diagnostic</a>	135
<a href="#">5.4</a>	<a href="#">Processus général de résolution de problèmes</a>	136
<a href="#">5.5</a>	<a href="#">Mécanismes de raisonnement</a>	139
<a href="#">5.6</a>	<a href="#">Nouvelle méthode de résolution de problèmes proposée</a>	148
<a href="#">5.7</a>	<a href="#">Conclusion</a>	153
<a href="#">CHAPITRE 6</a>		155
<a href="#">6.1</a>	<a href="#">Introduction</a>	159
<a href="#">6.2</a>	<a href="#">Initialisation de l'étude et phase de modélisation de l'existant</a>	160
<a href="#">6.3</a>	<a href="#">Diagnostic de l'existant</a>	164
<a href="#">6.4</a>	<a href="#">Conception du nouveau système décisionnel</a>	166
<a href="#">6.5</a>	<a href="#">Conclusion</a>	182
<a href="#">CONCLUSION GENERALE</a>		185







## INTRODUCTION GENERALE



Les travaux présentés dans cette thèse s'insèrent dans le cadre du développement de la méthodologie GRAI [Doumeingts, 1999], et plus particulièrement pour la modélisation des raisonnements en vue d'une aide à la conception des systèmes de production. La méthodologie GRAI a été élaborée sur la base de la méthode GRAI et de GIM (GRAI Integrated Modelling), pour analyser, concevoir un système de production et évaluer ses performances. Elle est maintenant reconnue sur le plan international (IFIP et IFAC)<sup>1</sup> comme l'une des trois méthodologies de Modélisation d'Entreprise. Les deux autres sont CIMOSA<sup>2</sup> élaborée dans le cadre de projets Européens et PERA<sup>3</sup> développée à l'Université de PURDUE aux Etats-Unis [Williams, 1994].

Les méthodes de Modélisation d'Entreprise<sup>4</sup> ont différents domaines d'application : élaboration de spécifications pour développer des applications informatiques, élaboration de cahiers des charges pour choisir des progiciels du marché (ERP (Enterprise Resources Planning), PGI (Progiciels de Gestion Intégrés), SCM (Supply Chain Management)...) ou des outils d'amélioration de performance (Workflow, Groupware ...). Elles permettent également l'évaluation des performances, le pilotage stratégique de l'entreprise ou bien la modélisation des connaissances (acquisition, mémorisation, réutilisation).

La diversité des entreprises, leur poids économique ainsi que leur domaine d'activités restent des facteurs importants pour la modélisation et la conception des systèmes de production. Pour aider les experts de la méthodologie GRAI, aussi bien dans la modélisation que dans l'analyse et la conception des systèmes de production, des outils informatiques ont été développés. Actuellement, la société GRAISOFT diffuse sur le marché le logiciel e-Magim.

---

1 IFIP : International Federation for Information Processing

IFAC : International Federation of Automatic Control

2 CIMOSA : Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture

3 PERA : Purdue Enterprise Reference Architecture

4 On appelle Modélisation d'Entreprise, la représentation du fonctionnement de l'entreprise à l'aide de concepts (comme celui d'activités) capables de décrire : la stratégie, la structure, les fonctionnalités, l'organisation en particulier la structure décisionnelle et la prise de décision, l'évolution dans le temps, les relations avec l'environnement (clients et fournisseurs). Ces modèles s'appliquent non seulement aux entreprises industrielles, mais également aux entreprises de service et aux services publics (hôpitaux, établissement d'enseignement, administration, collectivités territoriales, ...) [Doumeingts, 1999].

Les présents travaux s'inscrivent dans le cadre du développement des outils informatiques supports à la mise en œuvre de la méthodologie GRAI. Ils concernent plus précisément le module GIM, l'un des douze modules de la méthodologie GRAI. Ils conduiront à l'élaboration d'un Système d'aide pour les phases de Diagnostic et de Conception de systèmes d'entreprise. Le développement de ce système d'aide a nécessité l'élaboration d'une nouvelle classification des règles de diagnostic et de conception ainsi que le développement de modèles de référence et d'un processus de conception (en cohérence avec la démarche utilisée par les experts de la méthode). Nous avons limité nos travaux au système de production industrielle.

Dans le chapitre 1, nous exposons brièvement la Méthodologie GRAI et situons notre problématique dans cet environnement. Celle-ci concerne la modélisation du processus de conception, ainsi que l'aide au diagnostic et à la conception de systèmes de production.

Dans le chapitre 2, nous procédons à une analyse des travaux existants dans plusieurs domaines, afin de répondre aux différents problèmes soulevés. Nous exposons différentes théories de conception dans le but de déterminer les concepts à utiliser dans l'élaboration d'un processus de conception adapté aux systèmes de production. Nous détaillons également les techniques d'acquisition de connaissances et les raisonnements afin de déterminer les formalismes nécessaires à la réalisation d'une aide informatique efficace.

La représentation de la connaissance en vue de la conception des systèmes de production est détaillée dans le chapitre 3. Nous mettons un accent particulier sur la Base de Connaissances ainsi que sur les règles la composant et leur classification. Nous exposons également les différents modèles de référence, pour des domaines donnés de systèmes de production. Les modèles de référence servent à capitaliser les connaissances par une représentation liée aux formalismes utilisés dans la méthodologie GRAI.

Une méthode de conception est introduite dans le chapitre 4, elle inclut également le processus de conception élaboré. La méthode présentée couvre la conception de l'ensemble des modèles qui représente un système de production, mais nous concentrerons notre attention que sur la conception du système décisionnel.

Une Méthode de Résolution de Problèmes est décrite dans le chapitre 5 ; elle sert de base à l'architecture de notre système d'aide. Nous exposons tout d'abord un processus de résolution de problèmes ; puis, les différents mécanismes de raisonnement élaborés sont présentés. Les interactions entre ces derniers et les étapes du processus de conception proposé sont ensuite mises en évidence. Enfin, nous exposerons brièvement l'architecture du nouveau module informatique support au système d'aide.

Dans le chapitre 6, nous utilisons une application industrielle pour illustrer le principe de l'approche proposée pour l'aide au diagnostic et à la conception de systèmes de production, en particulier la conception du modèle décisionnel GRAI. Nous montrons l'utilisation des règles de diagnostic pour obtenir les points à améliorer ; puis, nous effectuons la conception, en mettant en évidence les différents mécanismes et les phases de conception associées.

Les travaux futurs et les perspectives de développement informatique sont discutés dans la conclusion générale.



*« Pour apprendre quelque chose à quelqu'un, il faut avant tout provoquer en lui le besoin de cette connaissance »*  
*[VALERY,1974]*

---

---

# CHAPITRE 1

## PROBLÉMATIQUE

---

---





## Table des matières

<a href="#">1.1. Introduction au chapitre 1</a>	19
<a href="#">1.2. Problématique de conception de systèmes de production</a>	20
<a href="#">1.2.1. Introduction à la problématique de conception</a>	20
<a href="#">1.2.2. Principales caractéristiques de conception</a>	21
<a href="#">1.2.3. Nécessité de l'organisation de la phase de conception de systèmes de production</a>	22
<a href="#">1.3. Méthodologie GRAI</a>	24
<a href="#">1.3.1. Concepts de la méthodologie GRAI</a>	24
<a href="#">1.3.2. GIM (GRAI Integrated Modelling)</a>	32
<a href="#">1.4. Problématique d'aide à la conception de système de production</a>	38
<a href="#">1.4.1. Capitalisation des connaissances</a>	38
<a href="#">1.4.2. Aide informatique à la conception de systèmes de production</a>	39
<a href="#">1.5. Conclusion</a>	42



## 1.1 Introduction au chapitre 1

L'amélioration de la compétitivité des entreprises impose de reconcevoir de façon continue l'entreprise dans le but d'améliorer ses performances : coût, qualité, délai, flexibilité, réactivité, etc. D'autres attentes doivent être satisfaites, telles que le choix et l'implantation de solutions technologiques, la collecte ainsi que la gestion des connaissances de l'entreprise, et entre autres, la comparaison des pratiques de l'entreprise avec celles des meilleures entreprises du domaine (Benchmarking).

La méthodologie GRAI est l'une des principales méthodologies de modélisation d'entreprise. A ce titre, elle répond aux attentes précédemment citées pour améliorer la performance globale de l'entreprise. Son application à une entreprise (modélisation, diagnostic et conception) est effectuée par les experts GRAI en collaboration avec les acteurs de l'entreprise.

Dans ce chapitre, nous exposerons la problématique de conception des systèmes de production. Puis nous présenterons rapidement la méthodologie GRAI afin de situer le cadre de nos travaux. Nous mettrons enfin en évidence le besoin de développer un nouveau système d'aide à l'expertise pour les phases de diagnostic et de conception de systèmes de production dans le but d'assister les experts et les utilisateurs de la méthodologie.

## 1.2 Problématique de conception de systèmes de production

### 1.2.1 Introduction à la problématique de conception

En général, la conception d'un système (ou d'un produit) concerne la création d'un artefact. Dans le domaine de l'ingénierie la « conception » signifie l'élaboration de spécifications explicites de la structure d'un produit ou d'un système qui satisfait les besoins désirés en respectant les contraintes (figure I-1). La conception peut être considérée comme un processus itératif qui manipule la connaissance sur les artefacts existants (produits et systèmes) pour créer, spécifier les nouveaux artefacts satisfaisant une liste de besoins.

La conception implique différentes sortes d'activités telles que la recherche, la prise de décision, la résolution de problème, la planification, la sélection, l'analyse, la synthèse, l'évaluation, etc... Deux sortes d'activités sont définies dans [EYNARD, 1999] :

- les activités de conception utilisées pour générer des solutions candidates,
- et les activités de choix servant à sélectionner une solution parmi celles proposées.



Figure I-1 Conception comme transformation des besoins en solution

En conception de produits, les activités de conception augmentent donc la variété concernant l'objet à concevoir et les activités de choix la réduisent. Elles contribuent toutes les deux au raffinement de la connaissance sur l'objet à concevoir.

Concevoir un système de production nécessite d'utiliser des modèles du système ou de ses sous-systèmes et les différentes vues de ces modèles. Deux paramètres restent incontournables : ce sont les fonctions représentant les besoins en conception du système et la structure représentant la solution de conception. Les besoins en conception ne peuvent pas être identifiés de manière complète et cohérente au début de la conception ; la conception implique des activités pour identifier, corriger et raffiner les besoins en conception.

Dans les situations réelles de conception, la conception revient à un processus évolutif de transformation des besoins en solutions de conception. Pour concevoir un nouveau système, il est nécessaire de définir les spécifications de la solution correspondant aux nouveaux besoins.

## 1.2.2 Principales caractéristiques de conception

Il est difficile de définir exactement des besoins utilisateurs. Nous savons généralement comment définir les principales fonctions pour l'utilisation normale d'un produit ou d'un système, mais il est extrêmement difficile d'exprimer les fonctions qui sont liées au contexte de l'utilisation du produit parce qu'elles sont souvent des fonctions implicites [Tichkiewitch, 1999]. En général, il est facile pour un client d'exprimer ce qu'il ne veut pas mais il lui est difficile de définir ce qu'il attend.

Les besoins peuvent être classifiés en différentes catégories [Grabowski, 1999] :

- ☞ les besoins externes donnés par les clients et les besoins internes trouvés durant le processus,
- ☞ les besoins explicites donnés directement au début de la conception et les besoins implicites dérivés des besoins explicites et apparaissant durant la clarification de la conception.
- ☞ les besoins complexes et les besoins élémentaires déduits des besoins complexes par décomposition.

Parfois au début de la conception, les besoins utilisateurs contiennent non seulement des besoins fonctionnels (tels que la fonctionnalité requise ou la capacité, ...) mais aussi les éléments de solutions désirées (liés aux ressources existantes telles que les machines, les composants de technologie d'information). La conception dans ce cas est d'une part, un processus de transformation des besoins en une solution possible, d'autre part, un processus de raffinement complétant de manière simultanée les besoins et la solution.

Par ailleurs, il ne peut exister sur le marché une solution de conception satisfaisant tous les besoins spécifiques d'un système de production. Une solution intégrée doit donc être élaborée en se basant sur les concepts généraux des solutions élémentaires.

La conception de systèmes de production consiste en la spécification du futur système (cible). Le système cible est exprimé de manière usuelle dans la même sémantique que les besoins et le système existant. La conception de systèmes de production n'est pas seulement une question de technique, elle implique également plusieurs facteurs et contraintes qui influencent la prise de décision de conception, tels que les aspects sociaux et humains, l'implication financière, le risque, les restrictions externes, la flexibilité, la faisabilité etc...

Une analyse économique permet d'accomplir une approximation pour estimer les coûts et les bénéfices des principes de solution adoptés. Les coûts doivent être comparés aux bénéfices potentiels pour être générés en implantant la solution de conception. Le risque doit être évalué dans la phase de conception lorsque les principes de solution de base sont déterminés. En général, les risques sont plus larges que les risques financiers [Williams, 1994].

Implanter certaines technologies peut entraîner des dysfonctionnements et des coûts de maintenance et de réparation élevés (risques liés à la technologie). Parfois, implanter une nouvelle technologie requiert de remettre en cause l'organisation et les procédures de travail (risques organisationnels). La mise en place d'un nouveau système peut créer le mécontentement du personnel (risque à caractère humain). En général lorsqu'un système est flexible, il est moins spécialisé et peut être moins efficace. Les besoins fonctionnels sont la principale source pour déterminer le degré de flexibilité désiré...

### 1.2.3 Nécessité de l'organisation de la phase de conception de systèmes de production

Nous devons avoir à l'esprit que les solutions proposées seront intégrées dans le système actuel. Dans le cadre de la conception de produits, nous partons de besoins utilisateurs qui correspondent à des fonctionnalités et nous obtenons les spécifications du produit c'est-à-dire les attributs qui le composent. Nous utilisons pour cela un processus dont la simplicité et le degré de formalisation dépendent de la nature et la complexité du produit à concevoir.

Dès lors, nous distinguons plusieurs types de conception en particulier, une routinière qui revient à l'enchaînement de plusieurs tâches connues et formalisées conduisant au produit, ainsi qu'une autre dite créative et qui fait intervenir l'intelligence et le savoir-faire humains [GERO, 1990].

Une analogie avec la description effectuée en conception de produits nous amène à distinguer deux types de conception de systèmes de production :

- ☞ une conception intégrale correspondant au cas où les imperfections du système existant (système à concevoir) sont importantes,
- ☞ une conception corrective où l'évolution et les transformations à faire subir au système sont minimales.

Cette distinction pose plusieurs problèmes :

- ✓ Comment évaluer le système de production à concevoir et décider de manière judicieuse quel type de conception utiliser ?
- ✓ Comment organiser la phase de conception d'un système de production ?
- ✓ Comment allier la conception formalisée, automatisée, préconisée dans le cas où s'installe une routine dans la conception, à celle qui exige de la réflexion, voire du savoir-faire ?
- ✓ L'organisation de la phase de conception est-elle propre au domaine de production ?
- ✓ Comment doit-on dès lors particulariser cette organisation (par rapport au domaine mais aussi au système de production étudié) ?

La distinction entre tâches de conception systématisées et automatisées, et tâches de conception demandant une expertise humaine considérable conduit au besoin d'une aide informatique dans le but de capitaliser les connaissances des experts, mais également d'aider le concepteur pour les tâches formelles au cours de la phase de modélisation, de diagnostic ou bien de conception.

En conclusion, il est indispensable d'élaborer un processus de conception dans le but de formaliser les activités de conception routinière ou bien celles de conception créative. La complexité des systèmes de production actuels et la diversité des questions soulevées pour leur conception rendent indispensable l'utilisation de méthodes et d'une démarche cohérente pour répondre à cette problématique.

Par conséquent, nous utiliserons la méthodologie GRAI qui constitue le cadre de nos travaux. Les concepts de cette méthodologie ainsi que les principes de GIM (son module utilisé pour la conception de systèmes de production) seront présentés afin de faciliter la compréhension de la problématique de conception et de fournir un cadre à la solution que nous proposerons.

## 1.3 Méthodologie GRAI

### 1.3.1 Concepts de la méthodologie GRAI

#### 1.3.1.1 Le modèle conceptuel de référence GRAI

Le modèle conceptuel de référence GRAI (figure I-2) est une structure réursive utilisée pour représenter avec les mêmes concepts, aussi bien le modèle global, que le modèle local du système de production d'une entreprise [Doumeingts, 1984].

##### 1.3.1.1.1 Modèle générique GRAI

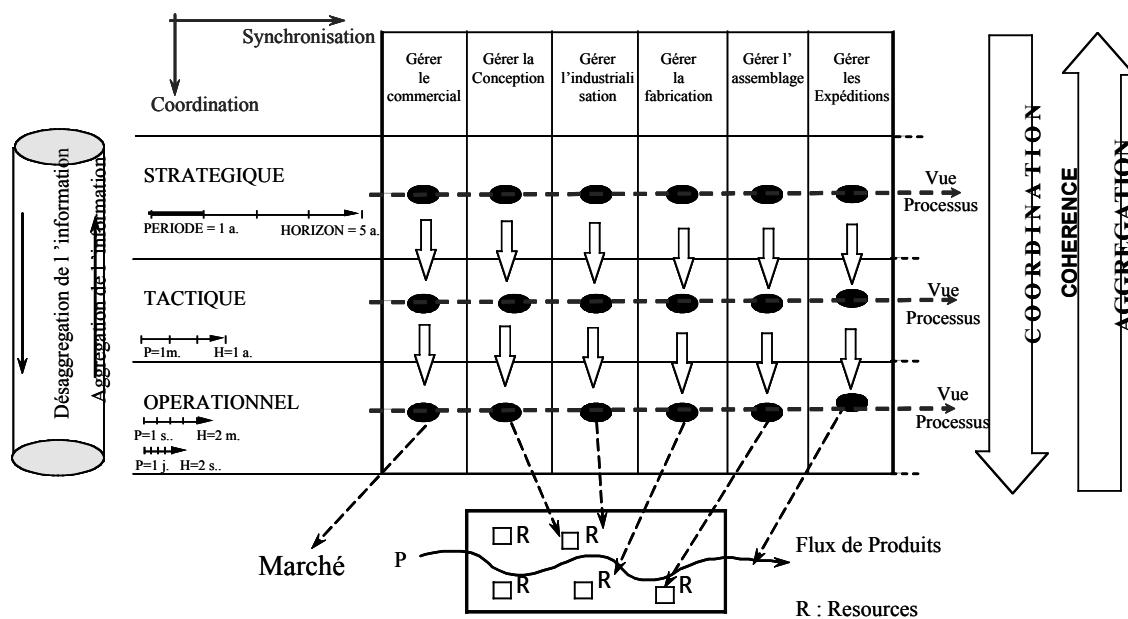


Figure I-2 : Modèle conceptuel de référence GRAI

Les bases théoriques du modèle GRAI sont la théorie des systèmes [SIMON, 1960], [LEMOIGNE, 1984], la théorie des systèmes hiérarchisés [MESAROVIC, 1970], la théorie des organisations [MINTZBERG, 1990] et le concept d'activité issu des travaux de L. PUN [PUN, 1977] [PUN, 1987].



Au niveau conceptuel, le modèle GRAI est une structure récursive composée de trois sous-systèmes : physique, décisionnel et d'information.

Le système physique transforme les matières premières, les composants en produits en créant un flux à travers les ressources organisées selon des critères précis.

Le système de Décision élabore l'ensemble des décisions qui permettent de piloter le système Physique, en s'appuyant sur le système d'information. La différence entre une décision et une information est que la décision comporte en plus des concepts importants tels que les **objectifs** à atteindre par le système, les **variables de décision** déterminant les actions qui serviront à atteindre les objectifs, les **critères** utilisés pour choisir parmi les variables de décision et les **contraintes** sur les variables de décision. Ces quatre concepts constituent un centre de décision.

Deux axes de décomposition (vertical et horizontal) sont définis pour faciliter la modélisation du système décisionnel. L'axe vertical est lié à la nature des décisions (stratégique, tactique, opérationnelle). Les décisions permettent de

- de définir les buts à atteindre sur un horizon long terme (stratégique),
- de mettre en place les Ressources et les Produits sur un horizon moyen terme pour atteindre les objectifs précédents,
- d'exécuter les activités de transformation des Produits par les Ressources sur un horizon court terme afin d'atteindre les objectifs stratégiques.

Pour chacun de ces horizons, on définit un intervalle de temps appelé PERIODE, au bout duquel l'ensemble des décisions prises sur cet horizon sont remises en cause de manière synchrone. Chaque niveau sera caractérisé par le couple HORIZON / PERIODE (H/P). Les couples Horizon/Période sont liés entre eux. Bien entendu, à l'intérieur d'une période donnée, des décisions peuvent être prises sur événement.

L'axe horizontal est lié au type de décision. Les activités de décision sont caractérisées selon la nature des activités (gérer le commercial, gérer l'assemblage,...).

L'intérêt de ce modèle est de favoriser l'intégration entre les niveaux décisionnels et entre les fonctions. On définit conceptuellement un centre de décision (CD) comme l'intersection d'une colonne et d'une ligne. On recherche la synchronisation des activités horizontalement par niveau et la coordination des décisions à travers les différents niveaux de décision.

1.3.1.1.2 *Modèle de pilotage*

Chaque fonction du Modèle GRAI® de référence peut à son tour être décomposée selon les principes de base GRAI® de synchronisation des activités. A chaque niveau décisionnel, l'objectif de performance impose de synchroniser dans le temps la disponibilité des produits et des ressources pour réaliser l'activité avec une atteinte de performance maximum.

Par exemple, si nous prenons la fonction "Gérer la fabrication", nous pouvons construire la grille de pilotage de la fonction Fabrication en synchronisant aux différents niveaux la "Gestion des produits" et la "Gestion des ressources". Cette synchronisation est obtenue par la planification des activités.

Ainsi, la grille GRAI® de pilotage comporte trois fonctions de base pour le pilotage (figure I-3).

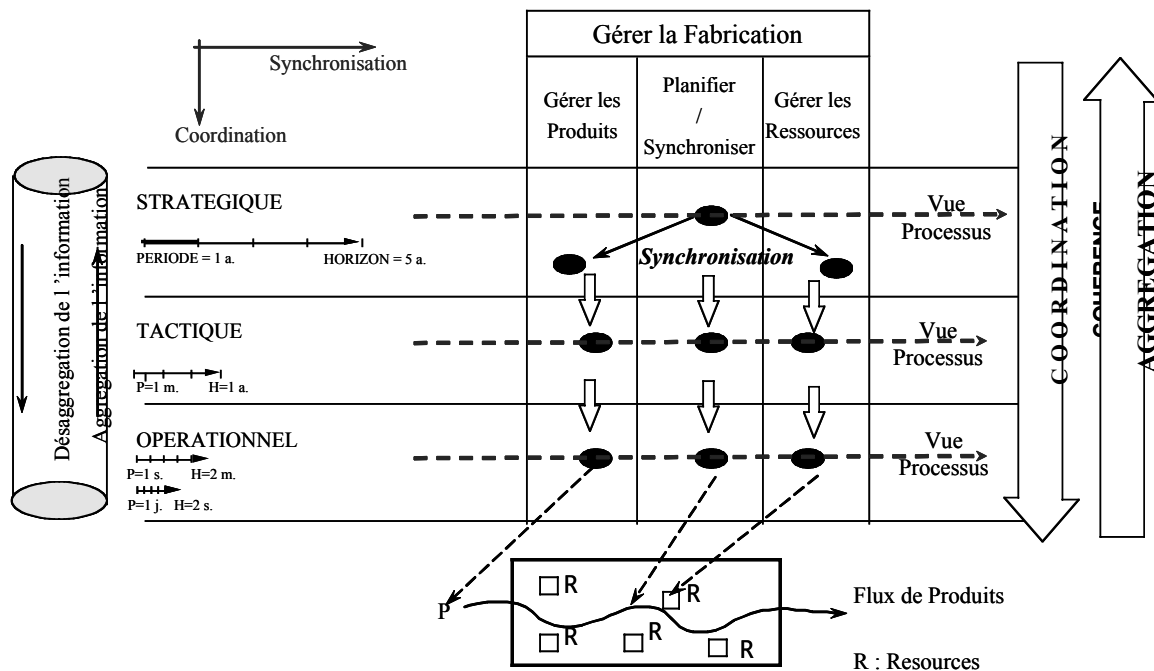


Figure I-3 : Modèle de pilotage GRAI

La combinaison du modèle générique GRAI et du modèle de pilotage GRAI permet d'obtenir la grille GRAI complète.

1.3.1.1.3 *Micro-modèle GRAI*

Le principe de structure récursive est utilisé pour définir le micro-modèle GRAI (figure I-4). A n'importe quel niveau de la structure, le centre de décision peut être décomposé en utilisant les mêmes critères : des composantes physique, décisionnelle, et informationnelle.

La composante physique est la vue du système physique au niveau de décision considéré. La partie décisionnelle est composée d'un décideur et de différents éléments l'aidant dans sa prise de décision.

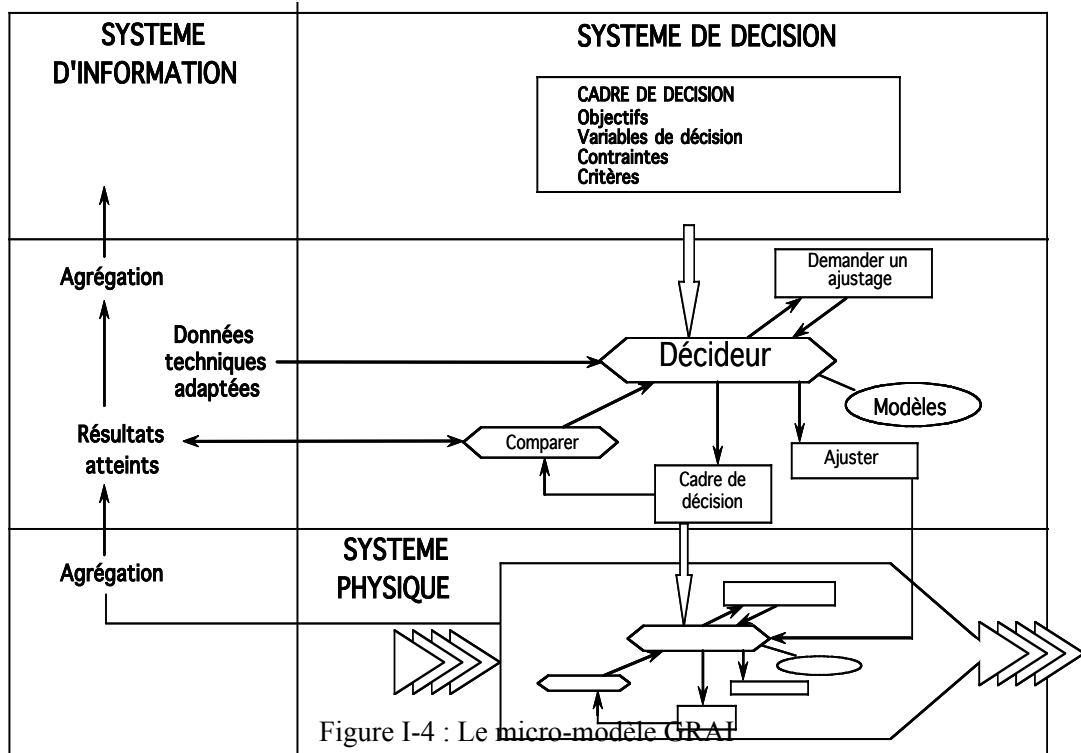


Figure I-4 : Le micro-modèle GRAT

### 1.3.1.2 Les formalismes GRAI

La méthodologie GRAI définit différents concepts qui sont représentés par des formalismes graphiques. Nous présentons rapidement ces derniers.

#### 1.3.1.2.1 Le formalisme Actigramme

Les modèles fonctionnel et physique sont représentés par le formalisme Actigramme. Ses concepts sont (figure I-5) :

- ☞ Les activités du système physique représentant une transformation : on matérialise chacune d'entre elles par un rectangle. Elle est définie par un verbe ou l'intitulé d'une action.
- ☞ Les flux c'est-à-dire les entrées, les sorties, les contrôles et les mécanismes. Ils représentent respectivement :

- pour les entrées, le flux transformé par l'activité,
- pour les sorties, le flux résultat de la transformation par l'activité,
- pour les mécanismes, les moyens humains et techniques, les informations, les procédures permettant la transformation par l'activité,
- pour les contrôles : les contraintes, critères et objectifs précisant comment le flux va être transformé par l'activité.

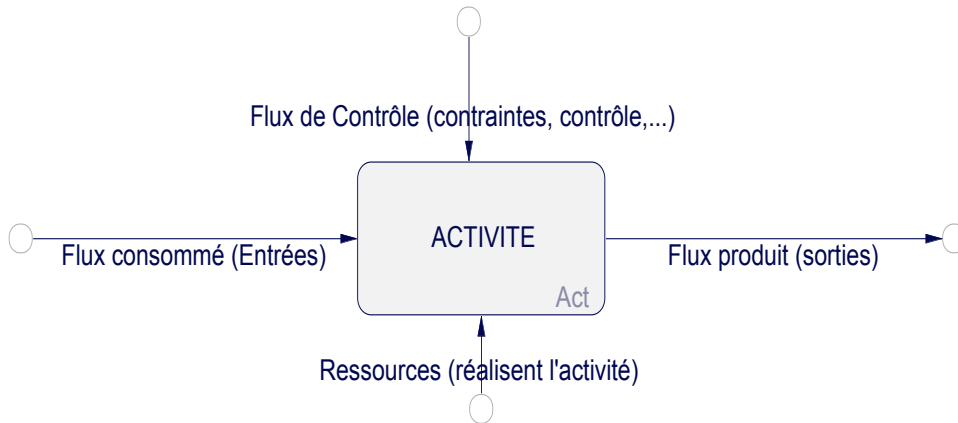


Figure I-5 : le formalisme Actigramme

### 1.3.1.2.2 Le formalisme Actigramme étendu

Le modèle processus est représenté par le formalisme Actigramme Étendu (figure I-6).

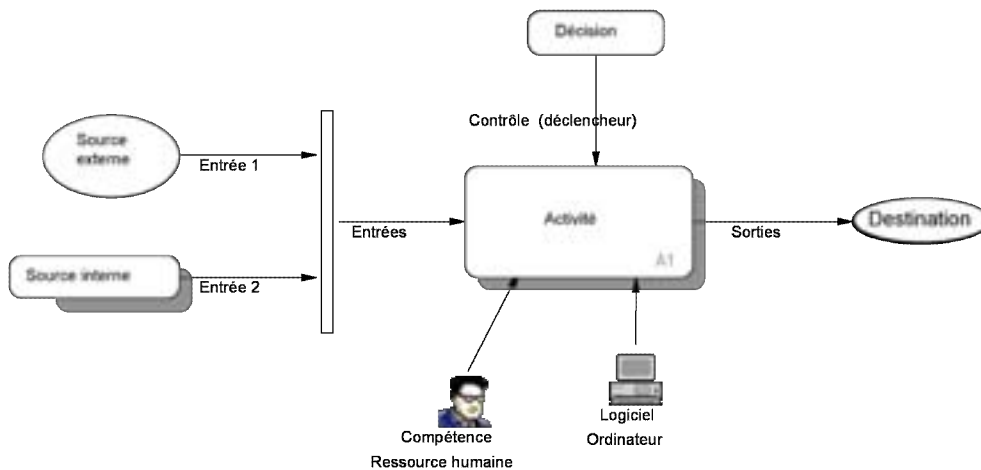


Figure I-6 : Le formalisme Actigramme Étendu

Il manipule des concepts permettant de représenter facilement les différents éléments entrant dans la description d'un processus et illustrant son fonctionnement.

C'est l'Actigramme auquel est ajouté les concepts de temps, de succession d'activités ainsi que les opérateurs ET, OU, les origines, et les destinations.

### 1.3.1.2.3 Le formalisme Grille GRAI

Le modèle décisionnel est représenté par deux formalismes : la grille GRAI (représentation globale (figure I-7) de la partie décisionnelle du système de production) et les réseaux GRAI (description détaillée (figure I-8) des activités des centres de décision).

Fcts H / P	INFORM. EXTERNES	GERER LE COMMERCIAL	GERER LA CONCEPTION	GERER L'INDUSTRI ALISATION	GERER LES PRODUITS	PLANIFIER LA PRODUCTION	GERER LES RESSOURCES	GERER L'ASSEMBLAGE	GERER LES EXPEDITIONS	INFORM. INTERNES
H = 5 Ans P = 1 An										
H = 1 An P = 1 Mois										
H = 2 Mois P = 1 Sem										
H = 2 Sem P = 1 Jour										

Figure I-7 : La grille GRAI

Les concepts de la grille sont :

- ☞ Les fonctions (regroupements d'activités de décision ayant un rôle concourant à une finalité commune et identifiée).
- ☞ Les niveaux décisionnels (un niveau décisionnel est défini par un couple horizon/période et représenté horizontalement dans la grille).
- ☞ Les centres de décision (intersection d'un niveau décisionnel et d'une fonction).
- ☞ Les flux d'information (cadre de décision et lien informationnel).

- ☞ Les informations internes et externes (elles servent à indiquer les interfaces informationnelles du système de décisionnel de production avec son environnement et avec le système physique de production).

#### 1.3.1.2.4 Le formalisme Réseaux GRAI

Les concepts des réseaux GRAI sont :

- ☞ Les activités d'exécution et de décision (processus de traitement de l'information réalisé avec un certain nombre de supports, un ou plusieurs déclencheurs et produisant un résultat).
- ☞ Les supports d'informations (relatives à l'accomplissement de l'activité).
- ☞ Les opérateurs logiques (combinaisons de plusieurs supports).
- ☞ Les symboles de communication (ils illustrent l'échange d'informations entre deux Réseaux).

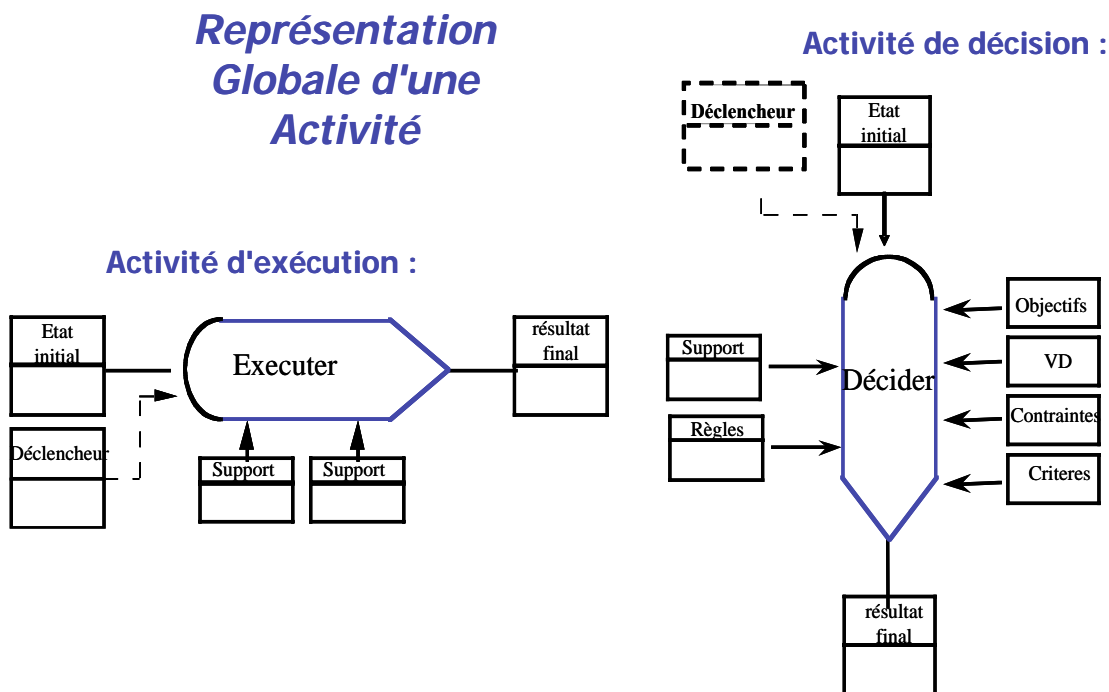
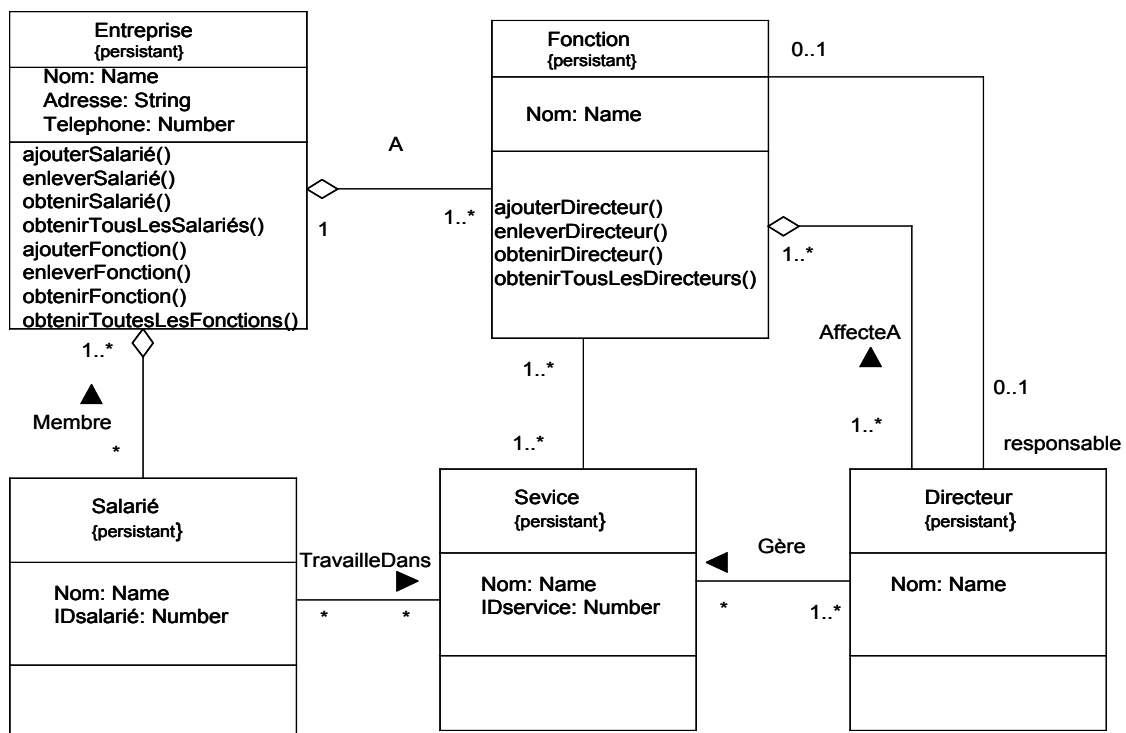


Figure I-8 : formalisme Réseaux GRAI

### 1.3.1.2.5 Le formalisme Diagramme de classes

Pour le système d'information, différents formalismes peuvent être utilisés (stock/ressources, entité/relation, ...). La méthodologie GRAI s'oriente plutôt vers l'utilisation des diagrammes de classes (UML).

Les diagrammes de classes constituent un sur-ensemble de diagrammes d'Entités/Relations (E/R), un outil de modélisation courant pour la conception logique d'une base de données. Alors que les diagrammes E/R classiques sont centrés uniquement sur les données, les diagrammes de classes vont



un peu plus loin et permettent également la modélisation de comportements (figure I-9).

Figure I-9 : Exemple de diagramme de classes

### 1.3.1.2.6 Synthèse des formalismes

Chaque formalisme est utilisé pour représenter un modèle précis du système de production étudié. La figure I-10 est une synthèse de tous les formalismes présentés dans ce chapitre.

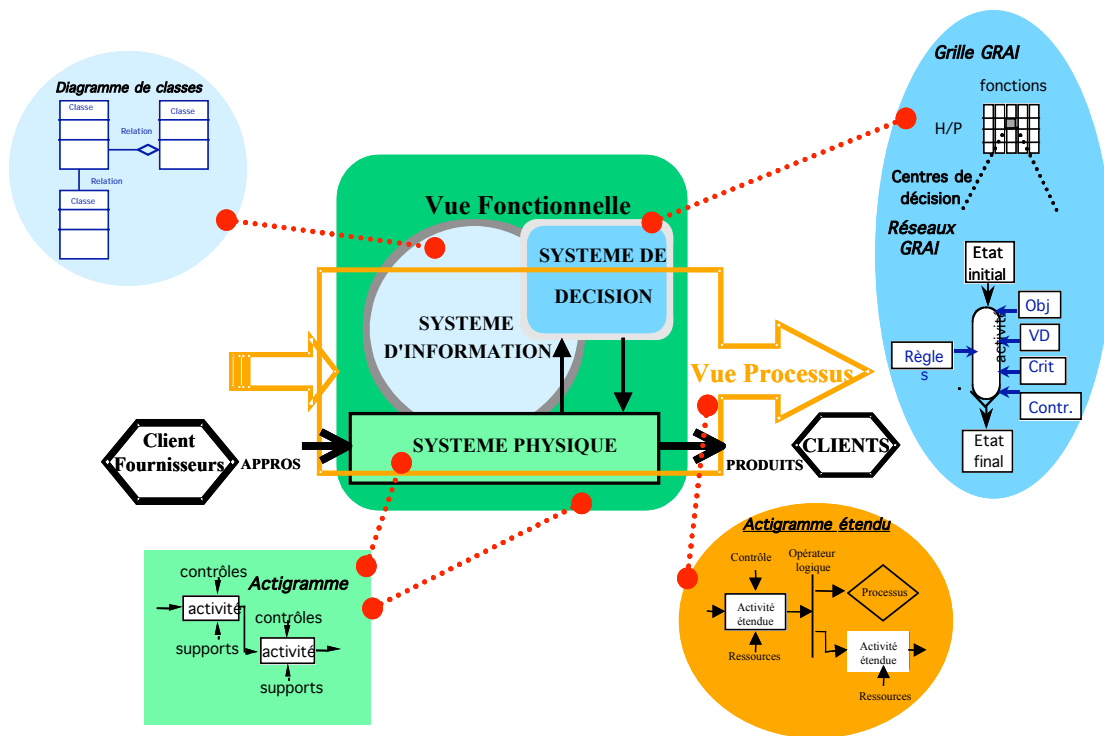


Figure I-10: L'ensemble des formalismes de la méthodologie GRAI

## 1.3.2 GIM (GRAI Integrated Modelling)

GIM est basée sur les concepts de la méthodologie GRAI. Ses objectifs principaux sont de concevoir un modèle cible susceptible d'améliorer les performances du fonctionnement actuel du système d'entreprise étudié. Nous allons rapidement présenter ses principes et sa démarche.

### 1.3.2.1 Les principes de GIM

Ses principes reposent sur l'hypothèse qu'on ne peut pas modifier directement un système pour l'améliorer, étant donné l'état technologique et organisationnel dans lequel il se trouve. Son état actuel fige le système et rend très difficile son évolution [DOUMEINGTS, 2000].



On part alors de l'existant (niveau réalisationnel), on représente ensuite l'existant tel qu'il est (niveau opérationnel), puis on cherche à déterminer les activités conceptuelles qui se cachent derrière la description du niveau opérationnel.

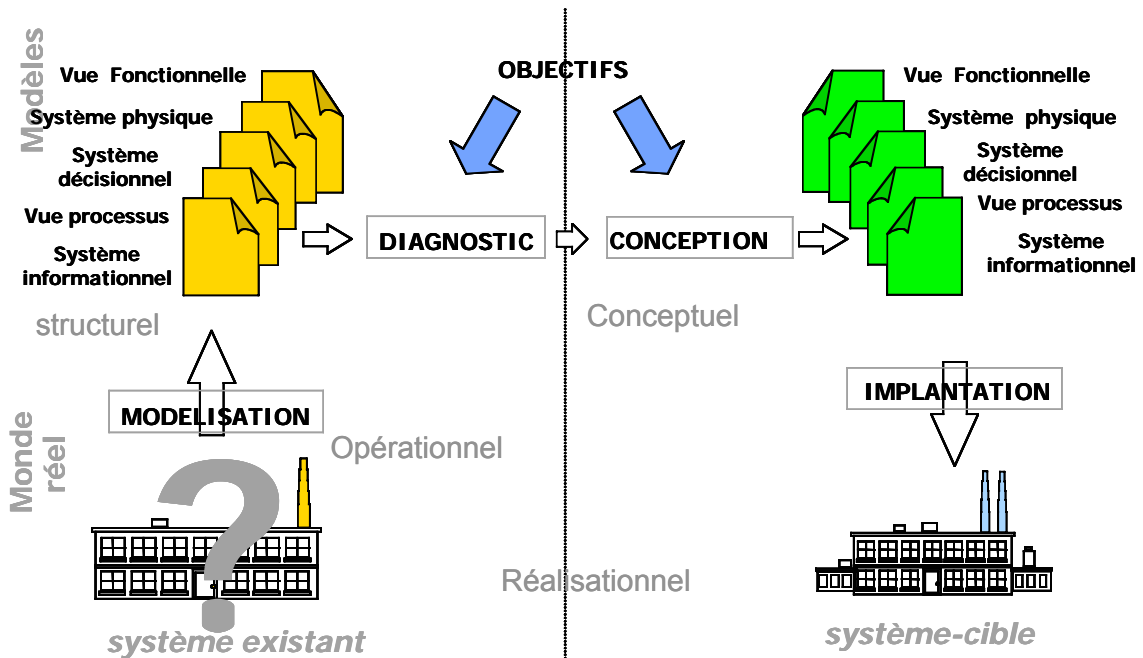


Figure I-11 : Démarche générique de GIM

GIM est une méthode participative qui fait intervenir différents acteurs (figure I-12).

Cinq groupes sont formés :

- le groupe de pilotage (responsables du domaine étudié) dont les prérogatives sont la définition des objectifs et du domaine d'étude, l'évaluation et la validation des résultats obtenus à la fin de chaque phase ;
- le groupe de synthèse (principaux décideurs du système étudié) dont les activités sont la fourniture d'information à un niveau global, la recherche, l'évaluation et le choix des solutions proposées aux différentes étapes ;
- les spécialistes de la méthodologie GRAI chargés de la mise en oeuvre de la méthode, de la collecte des informations, de leur mise en forme ainsi que de la recherche et de la proposition des solutions ;
- les interviewés (autres décideurs et utilisateur du domaine) compétents pour fournir aux spécialistes les informations sur le système étudié ou sur un domaine particulier ;

- les groupes de travail (personnes compétentes de l'entreprise et/ou extérieurs) dont la tâche est la recherche des solutions les mieux adaptées pour améliorer les points détectés.

Cette structuration en groupes est très certainement le point le plus constant de la démarche générique, avec la transition du modèle réalisationnel au modèle conceptuel.

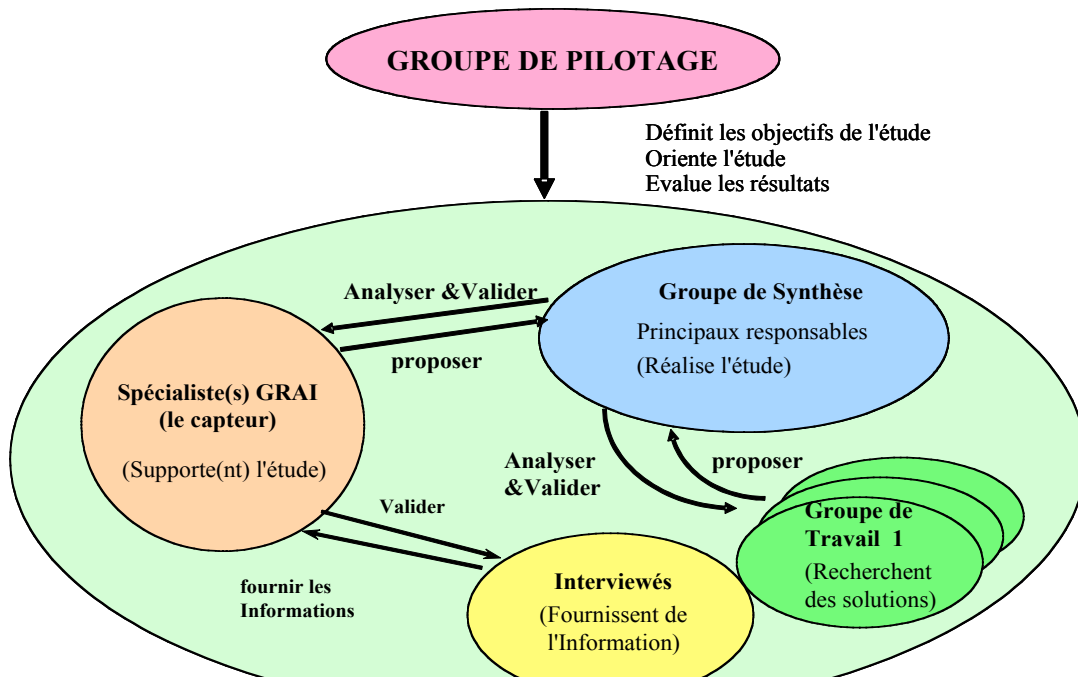


Figure I-11. GIM : méthode participative

### 1.3.2.2 La démarche de GIM

La démarche de GIM (figure I-12) est le processus suivi par les experts de la méthode pendant une étude GRAI [DOUMEINGTS, 2000].

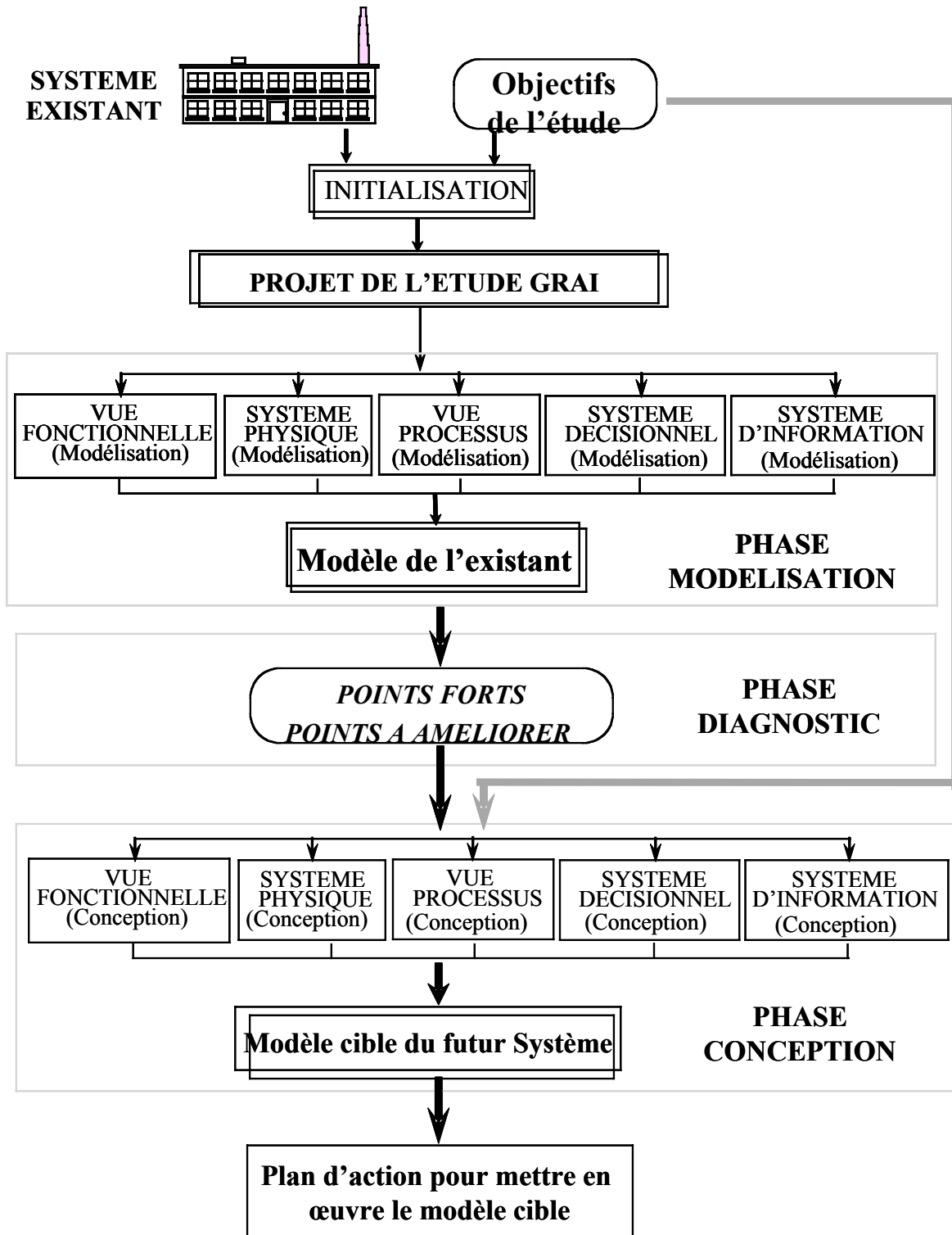


Figure I-12 : Démarche de modélisation et conception de systèmes de production

Elle permet, à travers un ensemble d'étapes identifiées, de structurer les actions à mener, les décisions à prendre, et les validations à effectuer tout au long d'une étude.

Les différentes étapes de cette démarche sont les phases :

- ☞ d'Initialisation servant à la préparation de l'étude, à la définition (par le groupe de pilotage) des objectifs de l'étude et à la délimitation du domaine objet de l'étude ;
- ☞ de Modélisation/Diagnostic conduisant à la modélisation du système existant, la détection des points forts et des points à améliorer ainsi que la proposition de pistes de solutions ;
- ☞ de Conception permettant d'obtenir le système cible en tenant compte des objectifs de conception ;
- ☞ d'élaboration d'un plan d'action pour implanter le système cible.

La démarche de GIM est avant tout une démarche de conception des systèmes de production. Elle part du modèle d'un système de production existant et d'une liste d'objectifs (figure I-13), exprimés sous forme de performances à atteindre. Finalement, elle donne les spécifications en vue de construire le nouveau système prenant en compte son environnement, [DOUMEINGTS, 1994].

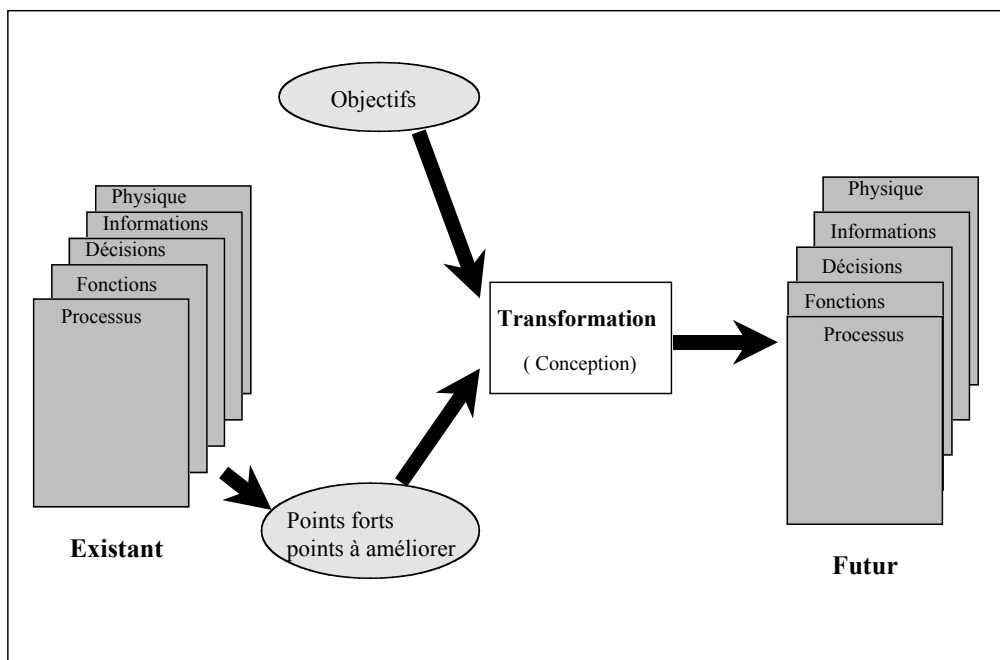


Figure I-13 : Mécanisme de conception de GIM

Nous montrerons rapidement la nécessité d'organisation de la phase de conception de système de production.

Conclusion :

La complexité des systèmes de production à étudier nous a amené à choisir d'utiliser la méthodologie GRAI pour les modéliser et les concevoir. Une présentation succincte de cette méthodologie nous a permis d'exposer ses concepts utilisés pour la modélisation, le diagnostic et la conception de systèmes de production. Nous remarquons notamment que les différentes étapes de la phase de conception de la méthodologie ne sont pas décrites de façon précise. Autrement dit, la conception repose largement sur l'expertise (connaissances) et l'expérience des experts de la méthodologie. Par conséquent, la modélisation de la connaissance est l'un des enjeux importants pour développer l'outil d'aide à la conception des systèmes de production.

## 1.4 Problématique d'aide à la conception de système de production

La complexité des systèmes de production impose aux acteurs de conception, un grand savoir-faire et une bonne expérience. De plus, il est quasiment impossible à un concepteur de détenir toutes les connaissances nécessaires pour concevoir un système de production quelque soit le domaine considéré. La méthodologie GRAI prône d'ailleurs une étroite collaboration entre les utilisateurs du système (figure I-14) et les spécialistes GRAI. Il faut donc d'une part, acquérir les connaissances des experts afin de pouvoir les réutiliser sur une autre étude (conception). D'autre part, il faut offrir au groupe de synthèse et aux spécialistes GRAI, un outil d'aide informatique leur facilitant le travail de conception.

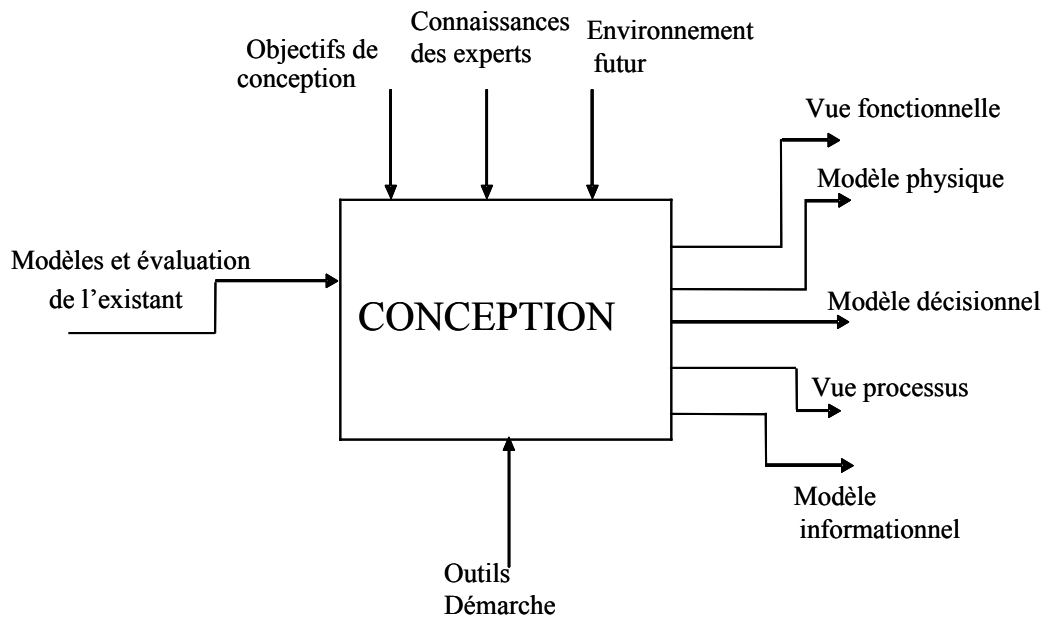


Figure I-14: activité de conception de système de production

### 1.4.1 Capitalisation des connaissances

La problématique de capitalisation des connaissances est motivée par :

- ☞ le volume important d'informations recueillies dans les entreprises,
- ☞ la dispersion de la connaissance et les pertes d'expérience,
- ☞ la dépendance de la qualité des solutions du projet par rapport au niveau d'expertise des concepteurs.

En effet, les informations recueillies au cours de différentes études (modélisation d'entreprise) nécessitent qu'elles soient stockées en raison de la documentation importante qu'elles peuvent rapidement représenter. Elles constituent également une garantie de non dispersion des connaissances en conception de systèmes de production. Enfin, la capitalisation de connaissances offre aux concepteurs la possibilité de profiter des expériences de conception passées.

## 1.4.2 Aide informatique à la conception de systèmes de production

La diversité des modèles du système à étudier pose plusieurs types de problèmes. Il s'agit par exemple de faciliter l'élaboration des modèles et la gestion des formalismes de représentation des modèles et de leurs interactions. Les modèles élaborés peuvent être analysés grâce à des règles de production. Il se pose alors le problème de la classification de ces règles. Il convient également de pouvoir définir de façon efficace les pistes de solutions issues de l'analyse du système existant. Par ailleurs, il est indispensable de pouvoir choisir la meilleure solution dans le but d'optimiser les performances du nouveau système de production.

Pour chaque phase de la conception l'aide informatique apparaît alors comme une nécessité. Plusieurs difficultés subsistent cependant dans l'élaboration de cet outil d'aide.

### 1.4.2.1 Modélisation des systèmes de production

Ainsi, pour la phase de modélisation, se pose le problème de la représentation des différents modèles (en l'occurrence pour la méthodologie GRAI). En effet, les différents modèles du système existant doivent pouvoir être représentés grâce à l'informatique (éditeurs graphiques). Les différentes transformations qu'ils subiront doivent également être prises en compte (conception de nouveaux modèles). Il est aussi indispensable de pouvoir acquérir et exploiter les informations liées au système à concevoir.

### 1.4.2.2 Diagnostic de systèmes de production

Au cours de la phase de diagnostic de la méthodologie GRAI, les modèles analysés sont différents et manipulent des formalismes différents. Il est donc nécessaire d'établir une classification des modes et critères de détection des différentes anomalies du système de production.

Mais avant toute chose, il convient de nous interroger sur la définition du diagnostic de systèmes de production. Dans la littérature, on désigne indifféremment le diagnostic technique ou le diagnostic médical par le terme diagnostic.

Le diagnostic médical est l'action de déterminer une maladie d'après ses symptômes [Petit Robert], alors que le diagnostic technique est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé [AFNOR, 1985].

En réalité, le diagnostic technique se base sur la notion de pannes ou de symptômes, ce qui le rend quasiment similaire au médical, d'où l'utilisation générique de ce terme pour désigner l'une ou l'autre forme. Nous considérons un dysfonctionnement du système de production comme un mode de fonctionnement anormal affectant les performances de ce dernier. Le diagnostic d'un système de production est donc la détermination des dysfonctionnements, c'est-à-dire des imperfections du système.

Les interrogations liées à l'aide au diagnostic des systèmes de production sont de plusieurs types. Les avancées remarquables de la recherche sur le diagnostic (diagnostic médical par exemple) représentent une source d'inspiration pour le développement d'un outil d'aide au diagnostic de systèmes de production. Il se pose par ailleurs le problème de l'analyse des modèles du système existant dans le but de déterminer les incohérences et les imperfections du système. Il est également souhaitable de pouvoir intégrer les différents modèles utilisés. Enfin, le choix du mode de diagnostic est important pour le développement d'une aide efficace. Les informations nécessaires pour le diagnostic des systèmes de production sont nombreuses et nécessitent pour un gain de temps et d'efficacité d'être réalisées par un outil informatique.

#### 1.4.2.3 Conception de systèmes de production

Par ailleurs, la tâche du (des) concepteur(s) est de trouver pour l'ensemble des problèmes identifiés lors du diagnostic, des solutions envisageables [Moudden, 1997]. Le choix de la solution de conception se fait en accord avec les acteurs du système étudié.

Le problème de l'aide informatique à la conception est intimement lié à celui de la structuration et la représentation d'un processus de conception définissant de manière précise, les différentes étapes de la conception et apportant au cours de chacune de celles-ci une aide appropriée.



Il faut définir quel type d'aide est nécessaire pour réaliser une conception intégrale (routinière) ou une conception correctrice (créatrice). Il est aussi important de pouvoir gérer les interactions entre les deux modes de conceptions précédents. La conception intégrale peut être entièrement automatisée, il est alors utile de connaître les solutions technologiques et informatiques adaptées pour assurer l'aide nécessaire aux deux modes de conception. Enfin, l'aide réalisée doit intégrer le principe de réutilisation des connaissances capitalisées.

## 1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la problématique de conception des systèmes de production. Nous l'avons située dans le cadre de la méthodologie GRAI. Les différents problèmes soulevés, mettent en exergue la nécessité de définir un processus de conception plus élaboré pour la méthodologie GRAI. Nous avons également montré la nécessité d'élaborer un outil informatique support aux différentes phases de conception (modélisation, diagnostic, conception). Ainsi nous avons exposé quelques aspects problématiques de conception et d'aide à la conception des systèmes de production. Il s'agit notamment de la typologie des systèmes de production, de la capitalisation des connaissances par une représentation explicite de celles-ci ainsi que de la modélisation du raisonnement.

L'établissement des spécifications de cet outil pose différents problèmes notamment :

- ☞ le choix d'un cadre conceptuel de développement d'un système d'aide,
- ☞ la formalisation du processus de conception
- ☞ la représentation de la connaissance exploitable par un outil informatique
- ☞ le choix d'une approche de recherche des incohérences du système étudié,
- ☞ la détermination de l'architecture du système d'aide,
- ☞ l'élaboration d'une méthode de résolution de problèmes,

L'objectif de cette thèse est de proposer une approche de conception de systèmes de production permettant de conduire au développement d'un système d'aide à la conception dans le cadre de la méthodologie GRAI.

En nous basant sur la démarche de la méthodologie GRAI (Initialisation, Modélisation, Diagnostic et Conception), nous avons montré la nécessité de capitaliser toutes les connaissances acquises au cours d'une étude et de les formaliser de façon explicite. Nous avons également exposé les différents problèmes de l'aide à la modélisation, au diagnostic et à la conception de systèmes de production. Nous en déduisons qu'il est aussi nécessaire d'élaborer un outil informatique approprié pour supporter la méthodologie GRAI durant la phase de conception. Les différentes questions posées dans ce chapitre nous montrent la nécessité de modéliser les raisonnements en nous basant sur l'état de l'art dans ce domaine.





*« Il faut beaucoup de connaissances, d'intelligence, d'invention (et de temps) aux modélisateurs pour aboutir à une simplification efficace sans détruire le sens exprimé par le fonctionnement du système » [BIGREL, 1990]*

---

---

## CHAPITRE 2

### ETAT DE L'ART

---

---



## Table des matières

2.1	Introduction.....	49
2.2	Théories de la conception.....	50
2.2.1	Introduction aux théories de conception.....	50
2.2.2	Théorie Générale de conception : modèle topologique.....	50
2.2.3	Approche axiomatique de conception.....	52
2.2.4	Autres travaux théoriques.....	53
2.3	Outils informatiques d'aide existants pour la méthodologie GRAI.....	55
2.3.1	Introduction aux outils d'aide existants.....	55
2.3.2	Outils supportant l'approche GRAI.....	55
2.3.3	eMagim , nouvel outil support de la méthodologie GRAI.....	58
2.3.4	Outils informatiques dans les domaines connexes.....	58
2.4	Acquisition des Connaissances et techniques d'Intelligence Artificielle.....	59
2.4.1	Introduction à l'Acquisition de Connaissances.....	59
2.4.2	Les cadres conceptuels.....	59
2.4.3	Approches existantes d'acquisition de connaissances.....	60
2.4.4	Techniques d'acquisition de connaissances.....	62
2.5	Les principales méthodes de raisonnement et de résolution de problèmes.....	63
2.5.1	Introduction aux méthodes de raisonnement.....	63
2.5.2	Les raisonnements.....	63
2.5.3	Les Méthodes de Résolution de Problèmes.....	64
2.6	Conclusion.....	66





## 2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous étudions les différents travaux effectués dans les domaines abordés par notre problématique. Ainsi, la nécessité d'organisation et de formalisation de la phase de conception de systèmes de production nous incite à étudier les approches significatives de conception. L'objectif est de montrer qu'il est indispensable de définir des concepts de base pour l'élaboration d'un processus de conception pour la phase de conception de la démarche de GIM.

Par ailleurs, la problématique d'aide à la conception de systèmes de production fait appel à différentes notions de plusieurs domaines, qu'il convient d'explorer. Nous étudions les cadres conceptuels existants pour choisir un mode d'aide appropriée à la modélisation et la conception des systèmes de production. Nous comparons dans ce chapitre, les différentes aides informatiques développées pour la méthodologie GRAI et montrons ainsi le besoin d'élaborer un nouvel outil d'aide à la conception de systèmes de production plus adapté aux besoins des utilisateurs de cette méthodologie. Nous faisons également une rapide analyse des principes d'acquisition de connaissances, des raisonnements et des méthodes de résolution de problèmes dans le but de trouver les mieux adaptées pour l'élaboration de cet outil d'aide.

## 2.2 Théories de la conception

### 2.2.1 Introduction aux théories de conception

Dans ce chapitre nous étudions différentes théories de conception, notamment la Théorie Générale de la conception élaborée par Yoshikawa et la Théorie de Suh sur les principes de conceptions. Nous nous basons sur les concepts présentés dans ces dernières, pour montrer la nécessité d'élaborer de nouveaux concepts en vue de mieux répondre à la problématique de conception de systèmes de production. L'apport de théories directement issues de la conception de produits est également à souligner.

### 2.2.2 Théorie Générale de conception : modèle topologique

La Théorie Générale de Conception a pour objectif d'établir la base scientifique de la conception en définissant les concepts de base et les principes pour formaliser le processus de conception. Elle clarifie l'habileté humaine par un chemin scientifique, et dans le même temps produit la connaissance pratique sur la manière de concevoir. Elle est aussi utile ou essentielle dans la construction des systèmes d'aide à la conception [Yoshikawa, 1981].

On définit l'espace fonctionnel composé des fonctionnalités associées à l'objet à concevoir, et l'espace des attributs de l'objet. On définit également le besoin en conception comme l'intersection de concepts abstraits dans l'espace fonctionnel et la solution d'un problème de conception comme l'intersection des concepts abstraits de l'espace d'attributs. La conception est la transformation des besoins fonctionnels de l'espace des descriptions fonctionnelles en attributs de l'espace des descriptions d'attributs.

Le modèle topologique reste cependant difficile à mettre en application car il considère que la connaissance du domaine est complète. En effet, cette approche est une théorie sur la connaissance en conception plutôt qu'une théorie de conception proprement dite. Elle définit la connaissance en conception que l'on peut opérer mathématiquement. La connaissance en conception est de deux types : la connaissance des artefacts existants et celle du processus de conception.

De plus, dans la réalité cette connaissance est incomplète. Les spécifications sont donc incomplètes, imprécises et parfois incohérentes et la connaissance du domaine est limitée quantitativement et parfois mal structurée.

Cette théorie a été améliorée par différents travaux [Tomiyaama, 1995], [Takeda,1992 ]. Ainsi la notion de métamodèle y est introduite. Le métamodèle est une nouvelle structure de modélisation basée sur la Théorie Générale de la Conception. Cette structure est intermédiaire entre l'espace des besoins fonctionnels et l'espace des attributs. La figure II-4 illustre le modèle de processus de conception évolutif dans lequel l'objet de conception est stocké dans le modèle central d'où les modèles pour différentes sortes d'évaluations seront dérivés [Tomiyaama, 1995]. La solution de conception est obtenue à partir des besoins fonctionnels, par évolutions successives du métamodèle. On passe d'un métamodèle à l'autre par ajout d'information. Le scénario est défini comme un ensemble de procédures de conception et de règles de conception et les contextes comme les différentes interprétations d'un modèle de l'objet à concevoir. Le concepteur utilise les contextes pour modéliser l'état actuel de l'objet à concevoir dans un certain environnement. Ces contextes servent aussi à obtenir d'autres informations sur l'objet à concevoir.

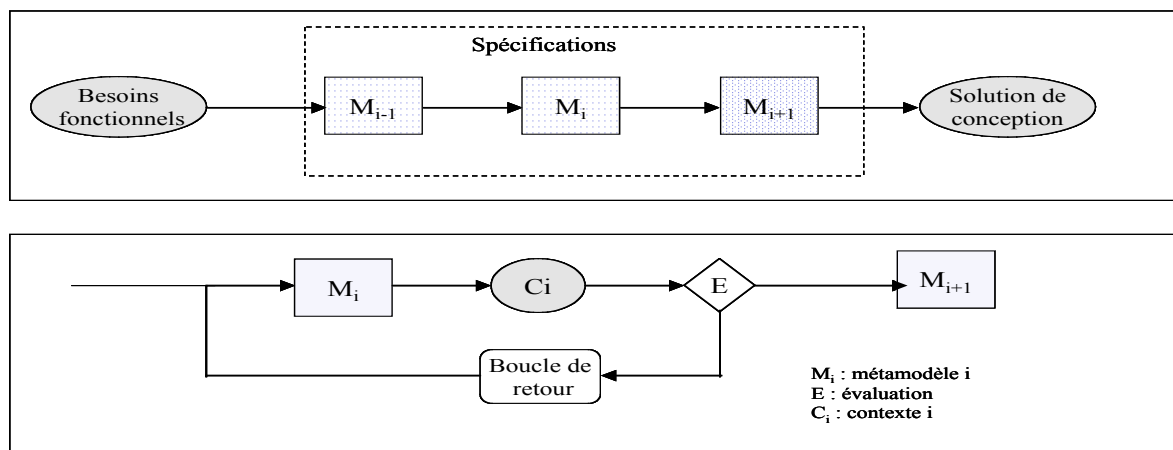


Figure II-4: Raffinement graduel et évolution de métamodèle

Le concepteur peut interagir avec le contexte et changer son contenu par ajout d'informations. Le nouveau contenu sert à passer à l'état suivant. Le mécanisme de métamodèle transfère donc le métamodèle d'un état au suivant. Il est commandé par scénario. Le concepteur sélectionne un scénario de conception qui est approprié à l'état du métamodèle  $M_i$ .

Puis le scénario est exécuté dans un contexte  $C_i$  donné. L'exécution d'un scénario se poursuit aussi longtemps qu'une nouvelle information peut être obtenue dans ce contexte (boucle) [Tomiya, 1995]. L'acquisition d'une nouvelle information s'effectue par des règles de conception et des procédures de conception dans un scénario. L'évaluation est le contrôle de la cohérence entre le contexte  $C_i$  et le métamodèle  $M_i$ . Si cette évaluation est positive, on peut passer au métamodèle suivant ( $M_{i+1}$ ). On peut donc par évolution progressive passer des besoins fonctionnels à la solution de conception.

### 2.2.3 Approche axiomatique de conception

Cette approche propose des principes conduisant aux bonnes conceptions. Si nous ne savons pas comment analyser et évaluer une solution de conception, nous ne pourrions pas générer rapidement la "meilleure" conception car nous ne savons pas distinguer la bonne conception des mauvaises. Il devrait donc exister des critères pour sélectionner une bonne conception, c'est-à-dire, prendre les bonnes décisions en conception, mais aussi donner des caractéristiques pour faire la différence entre bonnes et mauvaises conceptions. Cette approche apporte des réponses à ces interrogations. L'ensemble des caractéristiques génériques associées aux bonnes conceptions constitue le Principe Fondamental pour la Conception [SUH, 1990]. Cette approche est utilisée depuis longtemps dans certains domaines comme la thermodynamique. Le concept d'approche axiomatique stipule que l'environnement de la conception est décomposé en quatre domaines : client, fonctionnel, physique et processus. La transformation qui nous intéresse est celle du domaine fonctionnel en domaine physique. La conception est alors définie comme un processus de transformation des besoins fonctionnels (FRs) exprimés dans le domaine fonctionnel en paramètres de conception (DPs) décrits dans le domaine physique (espace d'attributs). Ceci peut être caractérisé mathématiquement par :

$$\{FRs\} = [A] * \{DPs\} \quad (1)$$

avec  $\{FRs\}$  le vecteur des besoins fonctionnels et  $\{DPs\}$  le vecteur des paramètres de conception.

La matrice  $[A]$  est de dimension  $m*n$  sachant que le vecteur  $\{FRs\}$  est de dimension  $m$  et le vecteur  $\{DPs\}$  est de dimension  $n$ . La matrice  $A$  est appelée matrice de conception. Soit la matrice  $A$  reliant le vecteur  $\{DPS\}$  de dimension 3 au vecteur  $\{FRS\}$  de dimension 3 telle que:

$$\begin{matrix} \times FR 1 \times & \times A11 & 0 & A13 \times \\ \times FR 2 \times & \times A21 & A22 & A23 \times \\ \times FR 3 \times & \times A31 & A32 & A33 \times \end{matrix} \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{bmatrix}$$

Cette matrice est appelée matrice couplée, c'est-à-dire qu'il existe des liens entre les différents paramètres de conception. Pour qu'elle corresponde à une matrice de bonne conception, c'est-à-dire une matrice découplée, il faudra la transformer. En réalité le concepteur agit comme une machine rationnelle de conception en suivant un processus de conception bien précis. Il s'agit de définir les besoins fonctionnels à partir des besoins du client, puis de trouver un ensemble de paramètres de conception plausible. Ensuite on sélectionne le meilleur paramètre de conception pour remplir un besoin donné. Nous obtenons une matrice de conception [A] pouvant être alors diagonalisée ou triangularisée. La solution obtenue est comparée aux besoins originaux et le contenu des informations est évalué.

#### 2.2.4 Autres travaux théoriques

Plusieurs autres travaux sont à noter sur la conception en général et notamment dans le domaine de la conception des produits. On distingue trois sortes de conception : routinière, innovatrice et originale. Cette classification n'est pas nouvelle, seule la terminologie change. On parle par exemple de conceptions routinière, innovatrice et créative [Gero, 1990], ou de conceptions de classe 1, de classe 2 et de classe 3 [Brown et Chandrasekaran, 1985].

La **conception routinière** caractérise la conception faite plusieurs fois dans le même domaine, avec la même description de besoins et en utilisant la même connaissance. C'est un problème bien défini, c'est-à-dire qu'il y a des critères suffisants au début du processus de conception par lequel on identifie une solution de conception. Ainsi, la description de besoins est fixée. Il implique seulement une spécification de problème contenant une description complète des contraintes qui doivent être résolues dans une solution.

Dans la **conception innovatrice**, le problème reste toujours bien défini, c'est-à-dire que les besoins sont fixés dès le début du processus. Cependant, la spécification initiale ne contient pas un ensemble complet de contraintes. Ainsi, une partie du processus de conception implique l'identification d'une spécification complète. La spécification finale contient un ensemble complet de contraintes, et la solution satisfait le critère spécifié dans la description de besoins.

En **conception originale**, la description des besoins évolue pendant le processus de conception. Le problème de conception est un problème mal défini, c'est-à-dire que les besoins peuvent être inexistants, incomplets, imprécis ou ambigus. Au début du processus, il y a un manque de critères suffisants par lesquels on identifie une solution possible. Le processus de conception implique l'identification d'une description de besoins complète, cohérente, précise et non ambiguë aussi bien qu'une conception qui la satisfait.

### **Synthèse**

La Théorie Générale de la Conception est très intéressante, mais reste assez conceptuelle et difficile à appliquer car elle ne prend pas en compte la nature incomplète, imprécise et imparfaite des besoins fonctionnels. Une amélioration de cette théorie a été réalisée notamment pour le processus de conception (processus de raffinement) et la conception de produits [Tomiya, 1995], [Takeda, 1992]. L'idée du raffinement progressif dans cette approche s'inscrit bien dans la démarche évolutive de conception qu'impose le marché économique et à cet égard elle est adaptée à la résolution de notre problématique de conception du système de production.

De même, l'approche de Suh concernant la bonne conception est une idée originale et intéressante. Cependant un doute subsiste quant à l'applicabilité de cette théorie conduisant néanmoins à une formalisation intéressante de la conception. Dans la réalité, Il est difficile d'obtenir au cours de la conception d'un produit ou d'un processus une matrice de conception non couplée, c'est-à-dire des besoins fonctionnels entièrement indépendants. Ceci réduit le champ d'utilisation de cette théorie. Cependant, L'idée de l'identification de la relation entre les besoins en conception et les attributs de conception par une matrice contribue à caractériser et quantifier les liens entre ces deux domaines.

D'autres approches présentent des avantages certains sur le plan formel. Il s'agit notamment de la classification des conceptions (routinière, innovatrice et créative). ces approches nous ont conduit à définir les conceptions intégrales et correctives. La conception de systèmes de production ne peut pas par contre être classée dans l'une des classes définies car elle allie une partie routinière avec un « zeste » d'innovation et un « brin » de créativité.

## 2.3 Outils informatiques d'aide existants pour la méthodologie GRAI

### 2.3.1 Introduction aux outils d'aide existants

Les outils d'aide couvrent tous les domaines en général et les sources structurées d'apprentissage utilisées sont de différents types (réseaux de neurones, algorithmes génétiques, CBR...). Il existe des outils propres au domaine de la modélisation d'entreprise, tels que Aris Tool, e-Magim, ...

Dans le domaine de la conception de systèmes de production, nous présentons les outils développés pour supporter la méthodologie GRAI. Nous montrons également la nécessité d'élaborer une nouvelle aide au diagnostic et à la conception de systèmes de production. Cette étude nous permettra ensuite de faire des choix judicieux quant aux solutions et aux technologies de développement choisies.

### 2.3.2 Outils supportant l'approche GRAI

Plusieurs outils informatiques ont été développés pour supporter la méthodologie GRAI. Nous distinguons notamment ADIS-GRAI utilisé pour effectuer d'une part un diagnostic qualitatif (incohérence du système) et d'autre part une détection des dysfonctionnements du système (au niveau du centre de décision) [CHEN, 1988]. Cet outil est difficilement exploitable car il ne s'intéresse qu'à la phase de diagnostic de la méthodologie GRAI et a été développé en LISP. De même, le système SAGP (Système d'Aide à l'Audit de Gestion de Production complet) [THOME, 1989] a été développé grâce à l'utilisation conjointe des langages LISP et PROLOG et de la base de données orientée objet G-Base ce qui le rend difficilement exploitable en milieu industriel. L'outil AIP-SD est quant à lui composé d'un éditeur graphique et d'un module de détection des incohérences mais son développement à partir de G-Base affaiblit ses performances et le rend lourd. Mac GRAI est un logiciel (pour Macintosh) d'aide au dessin, composé du logiciel Claris Mac draw et de bibliothèques de figures préenregistrées, utilisé pour dessiner des grilles et des réseaux GRAI. Aucun contrôle sur la cohérence de la modélisation n'est possible dans la mesure où la sémantique des modèles n'est pas prise en compte. L'outil DNAT est un éditeur graphique sophistiqué composé d'un éditeur de grilles et d'un éditeur de réseaux qui est capable de contrôler les interactions avec l'utilisateur en mettant en évidence les erreurs de modélisation. Il a été élaboré avec le système de gestion de base de données G-Base qui rend ses performances médiocres.

PARADI-CASE est le support informatique de la méthode intégrée TENIS dont le principe de base est de représenter le système d'information grâce au formalisme de la méthode MERISE, le système physique à l'aide des réseaux de PETRI et le système de décision d'une organisation de gestion de production par l'intermédiaire d'une grille GRAI. Cet outil ne permet pas de représenter les réseaux GRAI. De plus il est exclusivement un éditeur graphique. Cependant, il fonctionne de façon opérationnelle sur micro-ordinateur sous MS-Windows.

GRAI-AO est un outil informatique support à l'application de la méthodologie GRAI composé de deux éditeurs graphiques pour la saisie des grilles et réseaux GRAI, d'un module d'Analyse de Cohérence Statique Interne (ACSI) ainsi que d'un module d'Analyse de Cohérence Statique Externe (ACSE). Le module ACSI sert à la vérification de toutes les règles formelles de cohérence structurelle définies dans l'approche GRAI. Il est indépendant du type de gestion de production considéré. Dans ce module la connaissance mise en œuvre est divisée en trois catégories : la cohérence de la macrostructure (grille GRAI), de la microstructure (réseaux GRAI), et celle entre les niveaux de modélisation. Le module ACSE contrairement à celui de ACSI tient compte de l'environnement du système décisionnel. Dans ce module apparaît la notion de modèles de référence correspondant à une entreprise idéale. Ces modèles sont divisés en trois parties : le contexte de sélection, les contraintes impératives, et les contraintes conditionnelles. Le problème principal de cet outil est qu'il ne traite que de la vue décisionnelle des systèmes de production, mais aussi qu'il n'apporte aucune aide pendant la phase de conception. Il est plus rigoureux sur le plan du choix des outils de développement (KOOL, C++). Cependant, le choix de KOOL rend difficile l'ajout de nouvelles connaissances par l'utilisateur. En effet, l'ajout de nouvelles règles nécessite de recomposer l'ensemble de la base de règles écrites en KOOL pour obtenir un nouveau module de diagnostic.

CAGIM (Computer Aided GIM) est un logiciel support de GIM [Moudden, 1991], [Durcos, 1995] qui a été développé dans le cadre du projet ESPRIT 2338 « IMPACS ». Cet outil fonctionne très bien sous UNIX SUN en utilisant l'interface graphique OPEN LOOK (X\_WINDOWS). Il n'est cependant qu'un éditeur graphique pour les formalismes utilisés dans GIM.

IMAGIM<sup>+</sup> est un outil d'aide support à la mise en œuvre de la méthodologie GRAI [Durcos, 1995], [Akif, 1995], [Moudden, 1997]. Il est développé, avec une structure modulaire afin de favoriser son évolution progressive ultérieure. IMAGIM Kernel, le noyau de tout le logiciel, est un éditeur graphique pour la représentation des différents modèles de la méthode GRAI [Durcos, 1995], [Moudden, 1997]. Les différents modules de IMAGIM<sup>+</sup> sont en interaction avec le noyau.



IMAGIM semble assez performant, mais quelques problèmes subsistent par rapport à notre problématique d'aide au diagnostic et à la conception de systèmes de production. En effet, le module d'aide au diagnostic de cet outil est GIMXpert [Moudden, 1997]. Il est basé sur l'utilisation des règles de production pour détecter les dysfonctionnements. Actuellement, la classification des règles doit être revue pour mieux l'adapter aux différents domaines de systèmes de production. Les règles de diagnostic de GIMXpert couvrent en réalité aussi bien la phase de diagnostic (détection des dysfonctionnements), que celle de conception conduisant à la nouvelle solution. Il apparaît alors nécessaire de proposer une nouvelle classification des règles de diagnostic, mais aussi d'élaborer des règles de diagnostic utilisées seulement pour la détection des dysfonctionnements. Le problème de la phase de conception pourra quant à lui être résolu grâce à des règles de conception dédiées.

GIMCASE est le module informatique d'aide à la conception de IMAGIM basé sur le raisonnement CBR (Case Based Reasoning). Il est utilisé pendant la phase de conception, pour la capitalisation des expériences antérieures (anciennes études) au cours de la phase de conception, dans le but d'une réutilisation éventuelle pour les études ultérieures. Ce module contient une base de cas dans laquelle sont stockées toutes les anciennes études (figure II-5). Ce module ne peut être complètement mis en oeuvre.

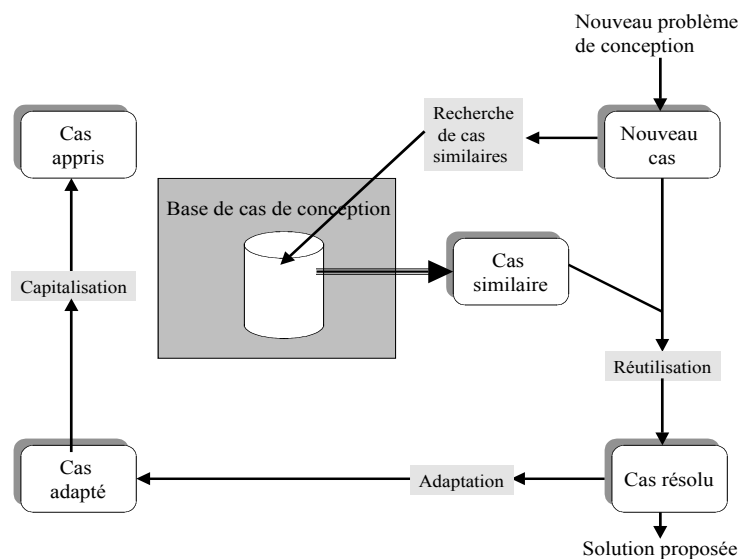


Figure II-5 : Cycle de raisonnement pour l'aide à la conception par CBR

Pour une étude donnée, une comparaison du contexte de cette étude avec celui de chacun des cas de la base est réalisée. Cette comparaison est utilisée pour trouver les anciennes études dont le contexte est similaire à celle en cours et d'en extraire leur solution de conception.

Pour un cas similaire choisi, une adaptation est alors effectuée. Elle conduit à une nouvelle solution de conception. Le nombre d'études disponibles dans la base de cas de GIMCase étant actuellement restreint, ce processus de conception basé sur le CBR n'est pas très utilisé.

### 2.3.3 eMagim, nouvel outil support de la méthodologie GRAI

**e-MAGIM** est le nouvel outil support de la méthodologie GRAI. Il permet de modéliser le système décisionnel de l'entreprise par la création et la visualisation de la Grille GRAI. Il propose l'édition et la hiérarchisation des Processus GRAI, qui sont composés d'une succession d'activités étendues et organisées de manière précise, en fonction d'une finalité donnée liée au client. Les flux de produits et d'information sont visualisés dans une même fenêtre de façon à faciliter l'interprétation des processus d'entreprise. Avec son ergonomie très développée et sa standardisation graphique, **e-MAGIM** permet l'édition de menus contextuels et de fenêtres de propriétés. Il constitue un véritable support à la gestion d'étude. Cet outil ne peut pour le moment être utilisé pour le diagnostic et la conception des systèmes de production. Les travaux de cette thèse devront permettre de résoudre ce problème.

### 2.3.4 Outils informatiques dans les domaines connexes

De très nombreux outils d'aide au diagnostic et à la conception existent dans différents domaines. Nous pouvons citer « Jurassic », un système expert dans le domaine de la paléontologie utilisé pour la détermination des espèces de dinosaures. Ce système expert est basé sur la connaissance incertaine et sur les réseaux de neurones.

Le processus d'acquisition des connaissances est une étape cruciale dans la technologie de systèmes experts. Une des sources structurées d'apprentissage utilisées reste les réseaux neuronaux. Un autre moyen d'apprentissage est l'utilisation des ensembles approximatifs comme nouvel outil mathématique pour traiter les données incertaines ou imprécises.

Une nouvelle architecture hybride de système expert, appelée système approximatif de neurones, a par exemple été élaborée à partir de l'intégration des réseaux de neurones et des systèmes experts.

Une application de ce système expert a été développée pour le diagnostic médical des maladies hépatiques [Yahia *et al*, 2000]. INTEMOR (INTElligent Multimedia System for Online Real-time application) est un système expert développé en se basant sur la technologie intégrée d'Intelligence distribuée [Rao *et al*, 2000].

## 2.4 Acquisition des Connaissances et techniques d'Intelligence Artificielle

### 2.4.1 Introduction à l'Acquisition de Connaissances

La réalisation de l'aide au diagnostic et à la conception de systèmes de production nécessite l'acquisition de la connaissance des experts. Cette connaissance s'acquiert de manière progressive, chaque étape impliquant une restructuration des éléments déjà acquis. Elle s'enrichit grâce aux informations qui nous viennent de l'extérieur. Elle est donc un ensemble de faits et de relations qui une fois utilisé, aboutit à des compétences performantes.

Dans ce chapitre, nous choisissons un cadre conceptuel dans le but de mieux définir les caractéristiques de l'outil d'aide à élaborer, nous exposons rapidement les travaux existants sur l'acquisition de connaissances et sur les techniques d'intelligence artificielle et nous montrons la nécessité de les utiliser dans l'élaboration d'une aide informatique.

### 2.4.2 Les cadres conceptuels

Le choix d'un cadre conceptuel s'inscrit comme point de départ de la définition d'une aide au concepteur. En effet, le cadre conceptuel permet une aide à la pensée créatrice. Il se définit comme la partie pensée de l'effort de conception. Les objectifs d'un cadre conceptuel sont :

- ☞ d'exposer et de structurer les idées relatives aux travaux de conception ;
- ☞ de faciliter les communications entre les membres de l'équipe de conception, c'est-à-dire les cognitivistes, les experts et les futurs utilisateurs du système ;
- ☞ d'enseigner des concepts anciens et nouveaux relatifs à la prise de décision ;
- ☞ de soutenir le management du projet de réalisation d'une aide, en facilitant notamment, l'affectation des ressources humaines, financières et matérielles impliquées.

Les cadres conceptuels comportent en général des concepts, servant à préciser le type de conception désiré. Le premier de ces cadres conceptuels est le **cadre de H.A. Simon** (1960). Il est basé sur le comportementalisme et est orienté vers les méthodes et les techniques de résolution de problèmes. Le cadre de **G.A. Gorry et de M.S. Scott Morton** quant à lui est une synthèse du second volet du cadre conceptuel de **H.A. Simon** et de celui de **R.N. Anthony**. Les décisions sont classées dans un tableau bidimensionnel suivant deux axes.

Le premier identifie les paliers organisationnels (planification stratégique, contrôle de gestion, contrôle des opérations) et le second indique les niveaux de structuration ou de structurabilité des décisions (structuré, semi-structuré, non structuré).

Le cadre conceptuel qui nous paraît intéressant à mettre en application et qui couvre nos besoins en matière de système d'aide à l'expertise est celui de **F.L. Luconi, T.W. Malone, et M.S. Scott Morton**. Il est l'extension du cadre de **G.A. Gorry et de M.S. Scott Morton** reliant le cadre de **H.A. Simon** à celui de **R.N. Anthony**, c'est-à-dire les décisions structurées et non structurées avec les paliers organisationnels (planification stratégique, contrôle de gestion, contrôle opérationnel). Il combine les différentes étapes de la prise de décision de Simon (intelligence, conception, choix, rétroaction) conduisant à la définition des décisions structurées et non structurées avec la classification de solution de problèmes de Newell. Ce cadre conceptuel sert à classer quatre types de problèmes et leurs caractéristiques. Il identifie notamment les catégories de problèmes dont la solution proposée est un système d'aide à l'expertise. Dans ce dernier, il est possible d'utiliser des techniques propres aux systèmes experts, même lorsque certaines connaissances relatives à la résolution de problèmes ne peuvent être codifiées, ni insérées dans la mémoire d'un ordinateur. L'outil informatique développé à partir de ce cadre conceptuel est doté d'interfaces conviviales avec les utilisateurs, permettant à ceux-ci d'effectuer le suivi et le contrôle du processus de résolution de problèmes. L'avantage d'un tel cadre est sa similitude avec la démarche de conception suivie par les experts de la méthodologie GRAI au cours d'une étude.

En effet, au cours d'une étude GRAI (modélisation, diagnostic, conception), les décisions sont prises en commun avec les décideurs de l'entreprise, ce qui impose une certaine liberté dans la prise de décision. L'aide apportée ne doit donc pas être entièrement formalisée et automatisée.

### 2.4.3 Approches existantes d'acquisition de connaissances

On peut définir plusieurs approches méthodologiques sur le traitement de la cohérence dans les bases de connaissance à savoir par les faits, les règles et le raisonnement hypothétique [Larrechea, 1995].

L'approche par les règles consiste à traiter la cohérence dans les bases de connaissances à partir des bases de règles, indépendamment des bases de faits préconisées par [Ermine, 1989] et [Rousset, 1988].

L'approche par les faits est appliquée dans trois méthodes utilisant le raisonnement hypothétique :

- ☞ TMS (Truth Maintenance System) [Doyle, 1979] qui est un système d'exploitation raisonnée de connaissances incomplètes. Ce système utilise essentiellement la notion de croyances (croyances crédibles dites "in" et les autres croyances dites "out").
- ☞ ATMS (Assumption-Based Truth Maintenance System) [De Kleer, 86a,86b], représente sans doute le plus connu des systèmes à base de connaissance et est un système de maintenance de la validité dans les ensembles de faits (ou de données). Il associe un graphe à la base de faits d'une base de connaissances, les nœuds<sup>1</sup> étant les faits de la base et les arcs liant ces faits<sup>2</sup> à leurs antécédents. Cette approche a pour objectif de corriger le défaut majeur du TMS qui est son incapacité à gérer efficacement plusieurs contextes à la fois.
- ☞ SACCO<sup>3</sup> (Système d'Acquisition Contrôlée des Connaissances Cohérentes) [Ayel, 1987] qui est un système d'acquisition contrôlée des connaissances et permet de rejeter toute nouvelle connaissance dès lors qu'elle introduit une incohérence vis-à-vis des connaissances du même type déjà acquises.

Il existe par ailleurs de nombreux travaux sur les systèmes à base de connaissances et leur cohérence. Nous pouvons citer le système OCOIN [SUWA, 1982], INDE [PIPARD, 1987 et SUPER [LE BEUX & FONTAINE, 1986] [LE BEUX, 1987]. Le système COVADIS [Rousset, 1987] vérifie indépendamment des bases de faits (attribut, valeur) la cohérence des bases de règles en faisant l'hypothèse de monovaluation des attributs. Son principe de base est de calculer les justifications (ensemble des faits nécessaires à la déduction d'un fait déduit) appelées contextes, de chacun des faits déductibles. Le système AGLAE [Ermine, 1989] est utilisé pour la vérification la cohérence d'une base de connaissances en analysant formellement la base de règles indépendamment de la base de faits. AGLAE sert donc pour l'acquisition mais aussi pour la modification incrémentale et la vérification de la cohérence de la base.

---

<sup>1</sup>On appelle nœud une entité composée d'une proposition, d'une étiquette et d'une liste de justification.

<sup>2</sup>Une proposition est une connaissance manipulée par le Module de Raisonnement, c'est une connaissance factuelle, une règle d'inférence ou une contrainte.

<sup>3</sup>Le système SACCO fonctionne sur des bases de connaissances fondées sur une représentation centrée objet de la base de fait de type (objet, attribut, valeur) et des règles exprimées à l'aide de la logique des prédicats. Il s'intéresse à la cohérence de la base de faits initiaux, et à la cohérence de la base de faits obtenue par déduction à partir de la base de faits initiaux. Il présente l'avantage de fonctionner avec des faits et des règles dont le formalisme de représentation est plus évolué que les systèmes présentés auparavant.

#### 2.4.4 Techniques d'acquisition de connaissances

Il existe un certain nombre de techniques grâce auxquelles le cognicien extrait la connaissance de l'expert. Les techniques les plus fréquemment utilisées sont :

- ☞ Les interviews, c'est-à-dire des entretiens entre le cognicien et un expert du domaine. Ces interviews peuvent être structurées (forme la plus simple et la plus utilisée) ou non structurées (la plus utilisée est basée sur des grilles).
- ☞ L'analyse de protocoles verbaux (modélise le comportement de l'expert). L'expert doit dire à haute voix toutes ses pensées ; il ne doit pas expliquer ce qu'il fait ou le commenter, mais uniquement le verbaliser. Son monologue est enregistré.
- ☞ L'observation directe consiste à observer le comportement de l'expert pendant que celui-ci résout le problème sur son lieu de travail.
- ☞ La classification est une importante activité cognitive. " L'activité classificatoire est la forme la plus élémentaire de la représentation. Le savoir naturel est d'abord classificatoire" [Vogel, 1988].

Il existe également d'autres moyens d'acquisition de connaissances notamment comme le Brainstorming et la méthode Delphi. Le plus important dans l'acquisition de connaissances est que la connaissance acquise soit modélisée à un niveau conceptuel autorisant une meilleure compréhension des processus mentaux de résolution de problème [Larrechéa, 1995]. Dans une étude GRAI, la connaissance est acquise par l'interview des décideurs de l'entreprise, en leur posant notamment les questions permettant d'extraire cette connaissance ainsi que par les réunions de groupes. Par souci de cohérence et d'homogénéité, il est logique que le futur système expert utilise les mêmes modes d'acquisition de connaissances.

## 2.5 Les principales méthodes de raisonnement et de résolution de problèmes

### 2.5.1 Introduction aux méthodes de raisonnement

Dans cette partie, nous faisons une brève étude sur les différents types de raisonnement et sur les méthodes de résolution dans le but de pouvoir utiliser les plus adaptées dans l'élaboration de l'aide au diagnostic et à la conception.

### 2.5.2 Les raisonnements

Le raisonnement<sup>1</sup> est une activité intentionnelle qui s'oppose à d'autres plus ou moins passives comme la perception, l'association d'idées,.... C'est un enchaînement de découvertes d'éléments de connaissances s'appuyant sur des informations connues, menant à un but recherché.

Il existe trois catégories de raisonnements logiques : les raisonnements déductif, inductif et abductif. Le raisonnement déductif déduit des conclusions valides à partir d'un ensemble de prémisses (application de connaissances générales à un cas particulier). Le raisonnement Inductif vise à l'inverse du précédent à généraliser des prémisses. Enfin, le raisonnement abductif attache des causes plausibles à un ensemble de prémisses. Il est souvent utilisé dans la résolution de problèmes de diagnostic, de langage naturel, de reconnaissances des formes etc.

L'ensemble des processus de raisonnement et de méta-raisonnement doit être supervisé, dans les applications complexes, par une stratégie générale capable de prendre les décisions en fonction de la situation courante, d'élaborer un plan d'action, de concentrer l'attention sur tel aspect du problème. Il existe deux formalismes logiques utilisés en Intelligence Artificielle, la logique des prédicats et la logique des propositions. La généralisation inductive comporte un modèle de construction d'hypothèses disjonctives. Contrairement au raisonnement abductif, elle s'applique lorsque les hypothèses à construire sont en général du domaine du discours. Elle est utilisée en apprentissage à partir d'exemples pour construire des règles de reconnaissance de concepts.

---

<sup>1</sup>Un raisonnement est défini comme un enchaînement d'énoncés ou de représentations symboliques. Il est conduit en fonction d'un but, pouvant prendre des formes variées : démontrer, convaincre, élucider, interpréter, décider, justifier, expliquer, ...

Le concepteur d'un système fondé sur la logique est tout d'abord confronté à deux caractères fondamentaux du raisonnement logique c'est-à-dire, le manque d'efficacité des mécanismes de preuve et le manque de structuration des connaissances exprimées, obstacle important dans la construction et la maintenance des systèmes de grande taille.

La conception de Systèmes à Base de Connaissance (SBC) performants nécessite donc de disposer de mécanismes de raisonnements approximatifs, efficaces, capables de prendre en compte ces imperfections. Le raisonnement approximatif est lié à d'autres raisonnements tels que ceux par classification, par analogie, ou hypothétique.

Le raisonnement par analogie est utilisé, soit comme recours en cas de nécessité, soit comme stratégie particulière de raisonnement. Le CBR est un cas particulier de raisonnement par analogie. Il est utilisé pour compléter les méthodes de raisonnement plus classiques notamment dans les domaines où la formalisation est délicate. D'autres types de raisonnements sont utilisés comme le raisonnement qualitatif, ou encore le raisonnement humain. Dans la réalité, le raisonnement humain s'applique sur des connaissances et des données inexacts, incertaines ou encore dont l'expression verbale est elle-même entachée d'imprécision. Modéliser ce type de connaissances et automatiser le raisonnement capable de le prendre en compte est une activité importante en Intelligence Artificielle. En effet, l'Intelligence Artificielle a pour objectif après une démarche cognitive d'étude des mécanismes de l'Intelligence, de doter les ordinateurs de capacités habituellement attribuées à l'Intelligence humaine telles que l'acquisition de connaissances, l'apprentissage, la perception, la vision, l'audition, le raisonnement, la prise de décision, etc. [Larréchéa, 1995]. Les techniques d'Intelligence Artificielle sont utilisées pour résoudre des problèmes complexes à partir de données souvent incomplètes, inexacts ou conflictuelles. Les systèmes experts de diagnostic élaborés dans tous les domaines (médecine, mécanique, automatique, productique etc..) utilisent ces techniques pour une aide à la résolution de problèmes.

### 2.5.3 Les Méthodes de Résolution de Problèmes

Dans cette partie, Nous décrivons brièvement trois structures de modélisation qui couvrent les différents aspects des approches d'ingénierie de connaissance à base de modèle : CommonKADS, MIKE et PROTEGE-II.



L'approche PROTEGE-II sert pour le développement de systèmes à base de connaissance par la réutilisation de méthodes de résolution de problèmes et d'ontologies.

De plus PROTEGE-II met l'accent sur la génération d'outils d'acquisition de connaissances adaptés au client à partir d'ontologies. Il repose sur une structure de décomposition de méthodes de tâches : par application d'une méthode de résolution de problèmes, une tâche est décomposée en sous-tâches correspondantes. Cette structure de décomposition est raffinée à un niveau inférieur auquel des méthodes primitives appelées mécanismes sont disponibles pour résoudre les sous-tâches. PROTEGE-II offre une petite bibliothèque de méthodes de résolution de problèmes qui ont été utilisées pour résoudre une variété de tâches.

L'approche MIKE (Model-based and Incremental Knowledge Engineering) fournit une méthode de développement pour les systèmes à base de connaissance, couvrant toutes les étapes depuis l'initialisation jusqu'à l'implémentation en passant par la spécification et la conception. Il propose une intégration des techniques de spécifications formelles et semi-formelles et un prototypage dans une structure d'ingénierie. L'intégration du prototypage et le support d'un processus de développement de système incrémental et réversible dans une structure à base de modèle est actuellement la principale différence entre MIKE et CommonKADS.

CommonKADS comporte une bibliothèque contenant un ensemble de modèles de conception. Ces modèles constituent en réalité des méthodes de résolution de problèmes associées aux données à notre disposition en début de conception. Le développement d'un système à base de connaissances est assimilé à la construction d'un ensemble de modèles qui constituent les différentes parties du produit développé. La méthodologie CommonKADS fournit au développeur un ensemble de modèles génériques initiaux et de relations entre ceux-ci. Elle est très utilisée notamment dans l'élaboration et la description de niveaux de connaissances. Ces structures génériques sont sélectionnées, configurées, raffinées et instanciées durant le projet. Le produit développé est composé de modèles génériques (configurés, instanciés), de la documentation (contenant les informations non représentées dans les modèles) et du système informatique.

## 2.6 Conclusion

Ce chapitre axé sur les travaux existants dans plusieurs domaines, a fait la synthèse des notions ou concepts dont nous sommes susceptibles d'avoir besoin pour proposer une solution à notre problématique. Ainsi, nous étudions les différentes théories de conception pour y trouver une réponse à la problématique de conception de systèmes de production. Il apparaît nécessaire de :

- Définir et formaliser le processus de conception en se basant sur les concepts théoriques développés dans les théories de la conception.
- Représenter la connaissance en conception des systèmes de production en cohérence avec la méthodologie GRAI (règles d'expertises, modèles de références, anciens cas d'étude,...).
- Modéliser les divers modes de raisonnements intervenus tout au long du processus de conception.

Les différents outils présentés dans ce chapitre ont chacun leur originalité, mais ne répondent souvent qu'en partie à notre problématique d'aide à la conception de systèmes de production. Hormis les problèmes de choix de développement, ils n'apportent pas une aide satisfaisante tout au long de l'application de la méthode GIM (modélisation, diagnostic et conception). Une étude succincte des outils existants de l'approche GRAI, montre l'utilité de IMAGIM<sup>+</sup> mais également ses insuffisances. En effet, GIMCase manque de cas dans sa base pour être efficace et il existe des points à améliorer dans GIMXpert, tels que la classification des règles et la structure même de ces dernières.

Un nouvel outil adapté aux ouvertures technologiques actuelles a ainsi été développé : e-Magim. Il n'apporte cependant aucune aide au cours de la phase de diagnostic et de conception de la méthode GIM. L'utilisation d'une approche modulaire permet de faire évoluer cet éditeur graphique vers un outil plus complet (e-Magim<sup>+</sup>) notamment par le développement d'une aide au diagnostic et à la conception de systèmes de production.

Ainsi, le cadre conceptuel de F.L.Luconi, T.W.Malone et M.S.Scott Morton cible le type d'outil le mieux adapté à notre problématique. En effet, il nous conduit à déduire que le système d'aide à l'expertise est approprié car il laisse la place aux décisions humaines et à la connaissance des experts du domaine d'étude. Une étude des raisonnements et des méthodes de résolution de problèmes montre également la nécessité d'élaborer une méthode de résolution de problème adaptée au développement de l'outil d'aide.





*« L'équilibre délicat entre la surface et la profondeur est le problème majeur qui se pose aux hommes de notre temps » [Moles, 1990]*

---

---

## **CHAPITRE 3**

### Modélisation de la connaissance dans un environnement GRAI

---

---



## Table des matières

3.1	Introduction.....	73
3.2	Modélisation des connaissances en conception de systèmes de production.....	74
3.2.1	Acquisition de connaissances .....	74
3.2.2	Typologie de systèmes de production .....	75
3.2.3	Représentation de la connaissances sous forme de Modèles de Référence .....	78
3.2.4	Représentation de la connaissance sous forme de cas d'étude .....	82
3.2.5	Représentation de la connaissance sous forme de règles.....	83
3.3	Conclusion .....	94





### 3.1 Introduction

Nous avons montré la nécessité du développement d'un nouveau module d'aide au diagnostic et à la conception des systèmes de production pour la méthodologie GRAI. Cette aide informatique support de la méthodologie GRAI pose plusieurs types de problèmes pour :

- ☞ l'acquisition des connaissances qui peuvent être sous forme de règles ou sous forme de modèles de référence,
- ☞ la typologie des systèmes de production.
- ☞ l'architecture du module d'aide au diagnostic/conception des systèmes de production et de l'intégration de chacune de ses parties entre elles.

Dans ce chapitre, la modélisation des connaissances nécessaires à la conception des systèmes de production est détaillée. Nous traitons en premier de l'acquisition des connaissances. Elle est effectuée par des techniques d'apprentissage ou par des interviews. Puis nous exposons une typologie de systèmes de production adaptée à un des modes de représentation de la connaissance choisi : le modèle de référence. Enfin nous proposons également la représentation de la connaissance sous forme de règles. Une classification des règles de diagnostic est présentée, ainsi que de nouvelles règles de diagnostic mais aussi de conception.

La conception d'architectures hybrides pour les Systèmes Intelligents est un nouveau domaine de la recherche en Intelligence Artificielle correspondant au développement de la génération future de systèmes intelligents. Dans ce chapitre, nous présentons également l'architecture générale de GRAIXpert, système d'Aide à l'expertise de systèmes de production. Ce système d'aide est une illustration de nos propositions sur la modélisation des connaissances et la conception de systèmes de production.

## 3.2 Modélisation des connaissances en conception de systèmes de production

La connaissance selon le petit Robert, c'est « *ce qui est connu, ce que l'on sait pour l'avoir appris* ». C'est donc le savoir, que possède une personne ou un système. La connaissance est donc un ensemble de faits et de relations qui une fois utilisé, aboutit à des compétences performantes. Le moyen d'acquérir cette connaissance, la raffiner, l'améliorer, la classifier et le mode de représentation de la connaissance acquise sont donc importants quelque soit le domaine de connaissances considéré.

### 3.2.1 Acquisition de connaissances

Le processus d'acquisition des connaissances implique l'acquisition des connaissances des experts dans le système [Boury-Brisset, 2000]. La connaissance peut être vue comme le processus qui nous permet de passer d'un état à un autre. Par exemple, comment un enfant acquiert il les connaissances sur le monde qui l'entoure ? Il intègre l'élément nouveau dans le fond des connaissances déjà acquises et il structure son savoir en employant de manière active ce qu'il vient d'acquérir. La connaissance s'acquiert de manière progressive, chaque étape impliquant une restructuration des éléments déjà acquis.

Soient  $K$  l'ensemble des connaissances et  $C_n$  l'ensemble des connaissances acquises par un individu (ou par un système expert). Nous considérons que  $K$  est un espace vectoriel et  $C_n$  un vecteur de  $K$ . La  $i^{\text{ème}}$  connaissance acquise est représentée par  $c_i$ .  $C_n$  étant composé de  $n$  connaissances distinctes

acquises, nous obtenons :  $C_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i * c_i$  où  $\alpha \in N$

Soit  $f$  l'application linéaire définie de  $K$  dans  $K$  qui à tout vecteur  $C_n$  associe le vecteur  $C_{n+1}$  :  $f(C_n)=C_{n+1}$ . Elle correspond au raffinement de la connaissance acquise par un système. Il existe deux cas de figure :

☞ si le raffinement de la connaissance acquise correspond à l'ajout d'une connaissance  $c_{n+1}$

distincte de celles déjà contenues dans  $C_n$  alors :  $C_{n+1} = \sum_{i=1}^{n+1} \alpha_i * c_i$

☞ si le raffinement de la connaissance acquise correspond à l'amélioration d'une ou plusieurs connaissances existantes dans  $C_n$  c'est-à-dire, qu'il existe des  $c_j$  dans  $C_n$  tels que

$c_{n+1} = \sum_{j=1}^m \beta_j * c_j$  alors :  $C_{n+1} = \sum_{i=1}^{n+m+1} \gamma_i * c_i$  avec  $\gamma_i = \alpha_i$  pour  $i$  variant de 1 à  $n-m$  et

$C_{n-m+1} = C_{n+1}$

Ces deux possibilités de raffinement de la connaissance dépendent évidemment de la nature et du mode de représentation de la connaissance acquise. Dans le cas de l'acquisition des connaissances en conception de systèmes de production, nous proposons d'utiliser trois modes de représentation de la connaissance :

- les modèles de référence,
- les cas d'étude,
- les règles.

Pour les modèles de référence, la connaissance à ajouter sera exclusivement un raffinement de la connaissance existante. C'est donc le deuxième mode de représentation qui sera appliqué. Pour les cas d'étude, l'objectif est de continuer à enrichir une base de cas, afin de capitaliser les connaissances acquises, mais aussi de disposer à terme de suffisamment de cas d'étude pour appliquer la conception comparative (analogie) préconisée par le CBR. C'est donc l'ajout exclusif des connaissances distinctes qui sera utilisé. Pour les règles (modélisation, diagnostic ou conception), les deux cas présentés interviennent :

- une règle peut être élaborée pour remplacer une autre (ou plusieurs) jugée(s) défailante ou incomplète ; c'est un raffinement de la connaissance,
- une nouvelle règle peut être élaborée pour compléter celle déjà existantes ; c'est l'ajout exclusif de connaissances.

### 3.2.2 Typologie de systèmes de production

Il existe de nombreuses classifications dans la littérature. Les plus connues sont celles de l'AFGI [Gallois, 1989], de M2I-CAP-SOGETI [Laperrousaz, 1986] et de l'AFNOR [AFNOR, 1985].

Les critères utilisés pour réaliser la classification des systèmes de production :

- ☞ la nature des activités de transformation (processus discret, continu ou discret-continu),
- ☞ la répétitivité de la production (unitaire, moyenne série, de masse),
- ☞ les fonctions de la production et les modes de réponses au marché (conception, fabrication, personnalisation à la commande/sur stock...),
- ☞ l'organisation produit /process (transformation divergente, convergente, linéaire),
- ☞ la nature de la valeur ajoutée (transformation physique, savoir-faire d'études ou technique, service...),
- ☞ la structure des produits,
- ☞ l'organisation des postes de production,
- ☞ le mode de distribution,
- ☞ le niveau d'automatisation,...

Notre objectif dans cette thèse n'est pas de proposer une nouvelle typologie, pour résoudre le difficile problème de la classification des systèmes de production, mais il est impossible de résoudre le problème de la conception de systèmes de production sans s'intéresser à leurs similitudes ainsi que leurs différences.

Les modes de conception variés, propres au domaine du système de production choisi sont tous pris en compte, de manière implicite, par les experts en conception.

Des travaux ont été menés sur la typologie des systèmes de production dans le cadre de la méthodologie GRAI : ceux de M. Roboam concernant la conception du système décisionnel d'un système de production[Roboam, 1988].

Par exemple, trois niveaux de spécialisation (Figure III-1) sont définis dans [Roboam, 1988] :

- ☞ le Modèle Conceptuel Global de Référence Décisionnel (MCGRD) qui correspond à une vision générale des systèmes de production,
- ☞ les Modèles Conceptuels Particuliers de Référence Décisionnels (MCPRD) qui sont une spécialisation du modèle précédent à une classe de système de gestion de production (OPT, JIT, MRP, KANBAN, etc.),
- ☞ les Modèles Conceptuels de Référence Décisionnels (MSRD) où les paramètres existant dans le modèle précédent sont instanciés pour correspondre au cas particulier en cours d'étude. Les paramètres en question sont l'horizon et la période de chacun des niveaux de prise de décision.

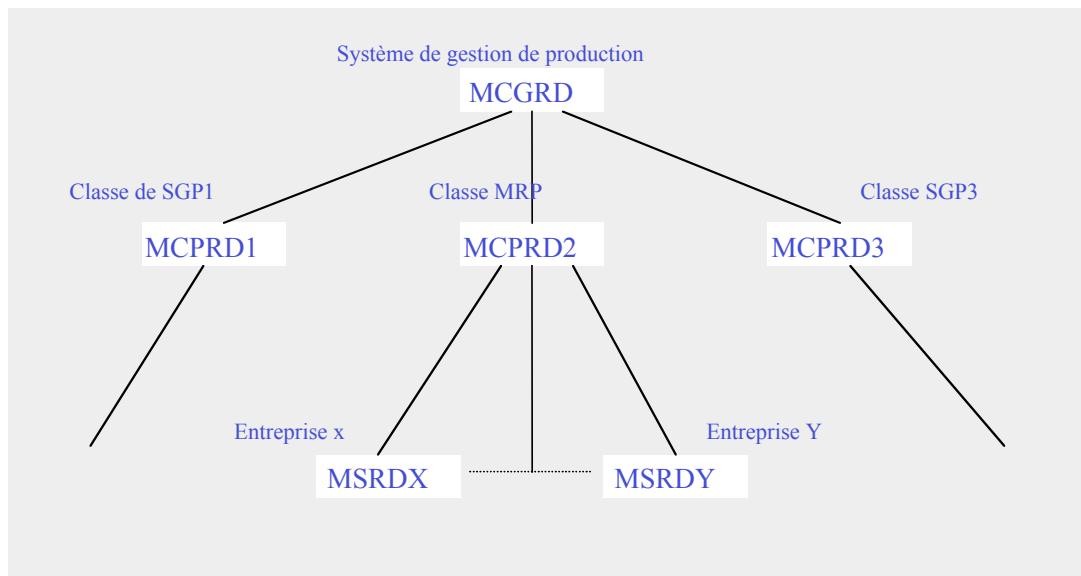


Figure III-1 : Niveaux de particularisation de modèles de référence

Le MCGRD est essentiellement composé de règles de cohérence de systèmes de production et donne les éléments caractéristiques des systèmes de production en général.

Le MCPRD est une particularisation du MCGRD pour une classe de systèmes de production donnée. Ceci pose donc le problème de la classification des systèmes de production.

Dans un MCPRD (grilles et réseaux paramétrés), il existe un ensemble de paramètres ajustables (horizon de prise de décision, flux d'information, etc.). L'attribution d'une valeur à ces paramètres donne naissance aux MSRDR représentés sous forme de grilles ou de réseaux mais sans paramètre.

L'approche présentée précédemment considère le modèle de référence comme un modèle générique. Elle est utilisée dans la conception globale qui revient donc à une particularisation de ce modèle. Nous avons étendu cette classification à l'ensemble des modèles de la méthodologie GRAI.

Par ailleurs, l'utilisation de paramètres et de différents types de modèles de référence représente un inconvénient majeur pour la mise en place d'un processus de conception exploitant cette approche. En effet, on obtient des modèles de référence rigides, ce qui rend moins efficace la conception. Ainsi nous proposons une nouvelle typologie évolutive de systèmes de production pouvant donc être améliorée.

La nouvelle typologie (figure III-2 ) que nous proposons, repose sur deux critères : le type de la production et la répétitivité de la production.

L'introduction d'un autre critère aura pour effet de subdiviser les différentes classes obtenues et d'augmenter le nombre de modèles de référence. Les modèles de référence ayant été établis par rapport aux différents cas déjà étudiés, cette typologie pourra être affinée et améliorée en fonction des nouvelles études réalisées (nous détaillons cette typologie dans le chapitre 5).

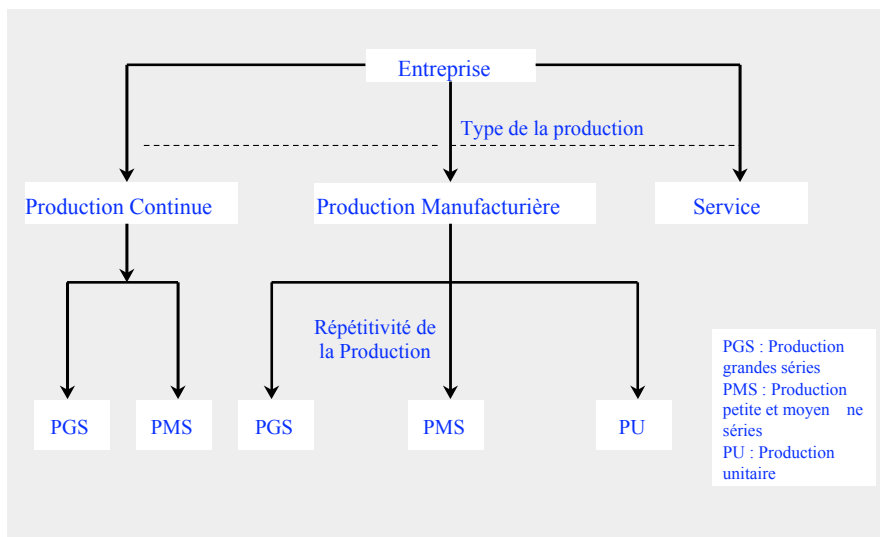


Figure III-2 : Classes de référence de systèmes de production

Nous élaborons alors une classification comprenant une classe d'entreprises de service (banques, grande distribution, etc.) et cinq autres respectivement de production :

- ☞ manufacturière et unitaire,
- ☞ manufacturière et en petites et moyennes séries,
- ☞ manufacturière et en grande séries,
- ☞ continue et en petite et moyenne séries,
- ☞ continue et en grandes séries.

Pour chacune des classes définies dans la figure III-2, on réalise des modèles de référence décisionnel (grille et réseau), fonctionnel et processus. La subdivision en modèles de référence générique, puis particulier et enfin spécifique proposée par Roboam est donc éliminée au profit d'un seul modèle par classe. Ceci offre un avantage de simplicité dans la nouvelle approche.

### 3.2.3 Représentation de la connaissances sous forme de Modèles de Référence

Plusieurs points de vue existent sur les modèles de référence. Par exemple, on appelle modèle de référence la plus petite structure commune dans un domaine donné, c'est une forme de squelette que l'on peut compléter en ajoutant des informations permettant ainsi de représenter un cas précis. Un modèle de référence peut être également vu comme un modèle standard, théoriquement prouvé et ayant un caractère impératif. Il est alors possible de mesurer l'écart entre les autres modèles et le standard. Ce point de vue est assez rigide.

Dans notre cas, il est plutôt vu comme un modèle général, représentant des habitudes communes à un ensemble particulier d'entreprises. C'est donc pour un domaine donné, un modèle générique nécessitant à chaque nouveau cas de ce domaine une adaptation, une particularisation.

Par exemple, si les paramètres de production d'un domaine de système de production donné évoluent avec le marché, le modèle de référence associé à ce domaine évoluera également. Cette définition de modèle de référence convient à la classification des systèmes de production proposée précédemment.

#### 3.2.3.1 Modèle fonctionnel de référence

Le modèle fonctionnel de référence est composé des principales fonctions d'une entreprise (figure IV-3). Nous avons recensé pour chaque domaine de production, les différentes fonctions et les liens entre elles.

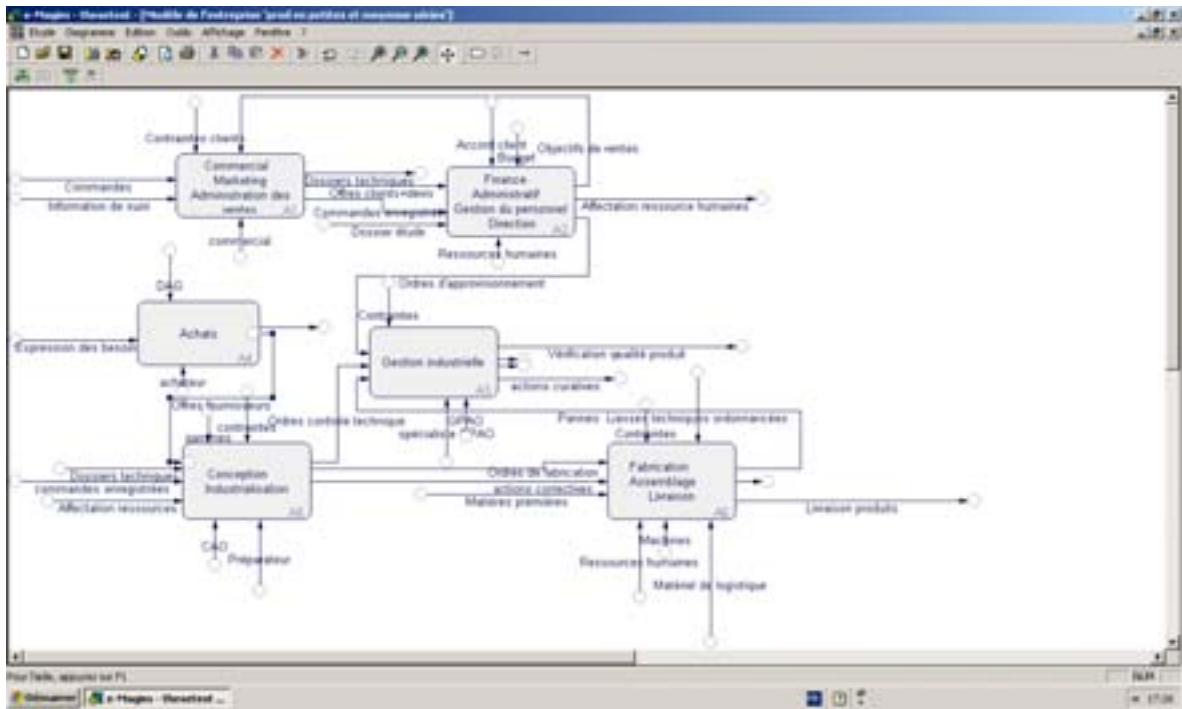


Figure III-3 : Modèle fonctionnel de référence (modèle A0)

Puis nous avons établi, grâce au formalisme actigramme, la vue fonctionnelle de référence sur les deux premiers niveaux de la décomposition fonctionnelle de l'entreprise. La figure III-3 représente le niveau A0 de la vue fonctionnelle correspondant à la classe de référence des entreprises de production manufacturière et en petites et moyennes séries.

### 3.2.3.2 Modèle décisionnel global de référence

Le modèle décisionnel de référence est composé des modèles décisionnels globaux (grilles de référence) et locaux (réseaux de référence). Nous avons établi pour chaque classe définie une grille de référence composée essentiellement des cinq niveaux décisionnels et des fonctions principales.

Nous obtenons par exemple, la grille de référence d'une entreprise de production manufacturière en petites et moyennes séries, représentée dans la figure III-4.

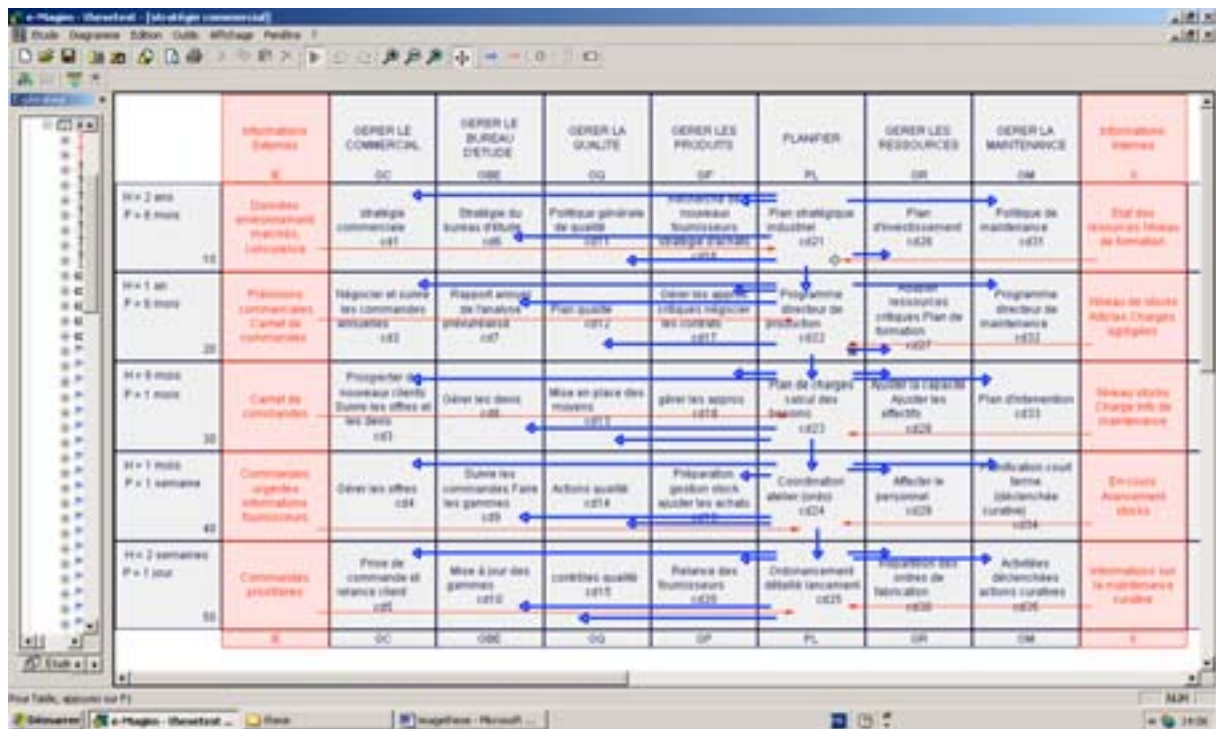


Figure III-4 : Modèle décisionnel global de référence pour la ‘Production Manufacturière en petites et moyennes séries’

### 3.2.3.3 Modèle décisionnel local de référence

Pour une grille de référence donnée, nous avons un ensemble de réseaux GRAI de référence qui sont associés chacun à un centre de décision de la grille de référence. Un réseau GRAI est essentiellement composé d’activités de décision et d’exécution que l’on retrouve fréquemment au niveau de ce centre de décision.

Un exemple de ce type de réseau de référence est représenté dans la figure III-5. Ce réseau de référence est associé au centre de décision PDP de la grille de référence correspondant à la classe des systèmes de production manufacturière en petites et moyennes séries.





### 3.2.3.4 Modèle de référence de la « vue processus »

De la même manière, nous établissons pour une classe donnée un modèle de référence contenant toutes les activités pouvant être rencontrées dans ce domaine. Par exemple, pour la classe de référence des entreprises de production manufacturière en petites et moyennes séries, nous obtenons plusieurs processus de référence. La figure III-6 montre un exemple de processus de référence pour la prise de commande.

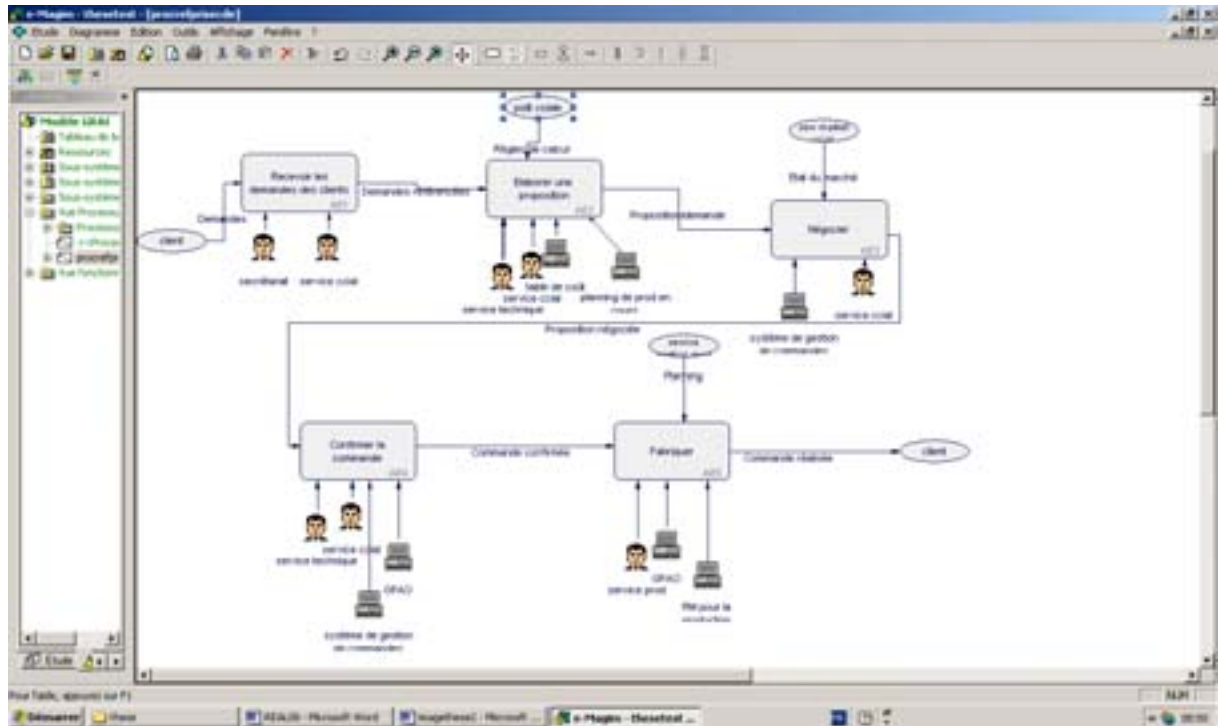


Figure III-6 : processus de référence pour la prise de commande

### 3.2.4 Représentation de la connaissance sous forme de cas d'étude

Nous proposons l'élaboration d'une bibliothèque de cas sur le même principe que celui de GIMCase [Moudden, 1997]. Dans GIMCase, un cas est restreint à la grille de conception ainsi qu'au contexte de l'étude. Cette modélisation de la connaissance sur une ancienne étude n'est pas suffisante. Pour une étude les autres modèles (Réseaux GRAI, modèles fonctionnel, physique, processus et informationnel) sont aussi nécessaires.

Le choix d'un modèle doit dépendre entre autres des dysfonctionnements détectés au cours de l'étude. Les cas seront capitalisés avec les différents modèles de l'étude en vue d'une réutilisation éventuelle. Pour un cas donné on a de façon formelle [Moudden, 1997] :

$C_i = \{(\mathbf{Domi}, \mathbf{Conti1}, \dots, \mathbf{Contin}), (\mathbf{Dysi1}, \dots, \mathbf{Dysim}), (\mathbf{Objj1}, \dots, \mathbf{Objjk}), \mathbf{Si}\}$  avec  $i, n, m, k$  appartenant à  $N$ . La variable **Dom** représente la classe de référence, ou le domaine de conception, et varie donc de 1 à 6 en fonction de la typologie proposée (figure III-3).

La variable **Cont** représente le contexte de l'étude. La variable **Dys** associe au contexte et au domaine choisi, un dysfonctionnement constaté lors de l'étude, tous les dysfonctionnements constituant les problèmes à résoudre. La variable **Obj** représente un objectif de conception à atteindre. **Si** correspond à la solution trouvée pour l'étude. Nous proposons que cette solution comporte tous les modèles établis afin d'avoir une capitalisation fidèle.

La différence par rapport à la base de données de GIMCase porte sur la solution **Si** qui est dans notre cas plus complète, ce qui correspond à l'introduction de sous-variables **Sij** pour exprimer les différents modèles solutions de l'étude. Elle porte également sur la classification systématique des cas en fonction des classes de référence établies.  $j$  varie de 1 à 6 en rapport avec chaque modèle de la méthodologie (décisionnel global, décisionnel local, fonctionnel, physique, processus, et informationnel). Il apparaît difficile de disposer dans l'immédiat d'un ensemble suffisant de cas pour la base de GIMCase. Il est donc utile de continuer à capitaliser les cas, d'une part, pour augmenter les données de la bibliothèque et d'autre part, pour garder une trace informatique de toutes les études.

### 3.2.5 Représentation de la connaissance sous forme de règles

L'utilisation de ce mode de représentation permet de s'intéresser de manière particulière à un aspect d'un modèle de la méthodologie GRAI. Les règles sont rangées en suivant une classification précise en rapport avec les différentes phases de la démarche de GIM. Nous présentons ci-après la classification des différentes règles ainsi que la structure de chaque type de règle. Toutes les règles sont présentées dans l'annexe 1.

#### Classification des règles

Les règles établies doivent être classées selon le moment où elle interviennent dans la démarche de GIM, mais aussi en fonction du rôle qu'elles devront jouer au cours des différentes phases.

Par ailleurs, la méthodologie GRAI comporte plusieurs modèles et manipule plusieurs formalismes. Il convient que les règles établies puissent également être classées en fonction du type de formalisme considéré, du modèle, de l'intégration entre ceux-ci et de la cohérence intra-modèle ou inter-modèle (figure III-7).

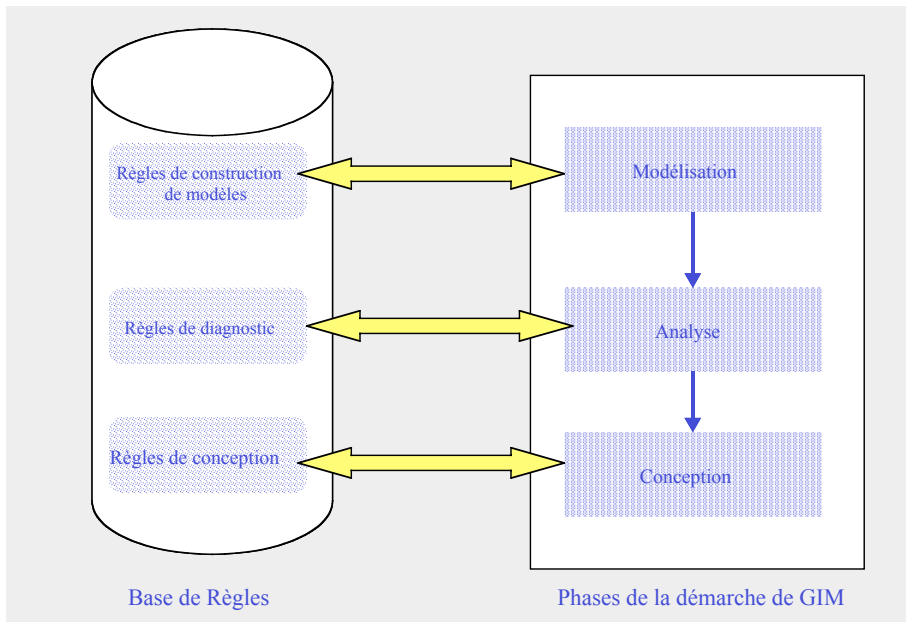


Figure III-7: Utilisation de la base de règles durant les phases de la démarche de GIM

Nous obtenons donc plusieurs axes de classification (voir figure III-8). Ils sont liés:

- ☞ A la finalité des règles et au moment où elles interviennent. C'est l'axe du type. Il suit la démarche de GIM.
- ☞ Au modèle et à son environnement ainsi qu'aux différents types de relation dans un modèle, mais aussi entre plusieurs modèles. C'est l'axe de granularité.
- ☞ Au formalisme de la méthodologie GRAI utilisé.

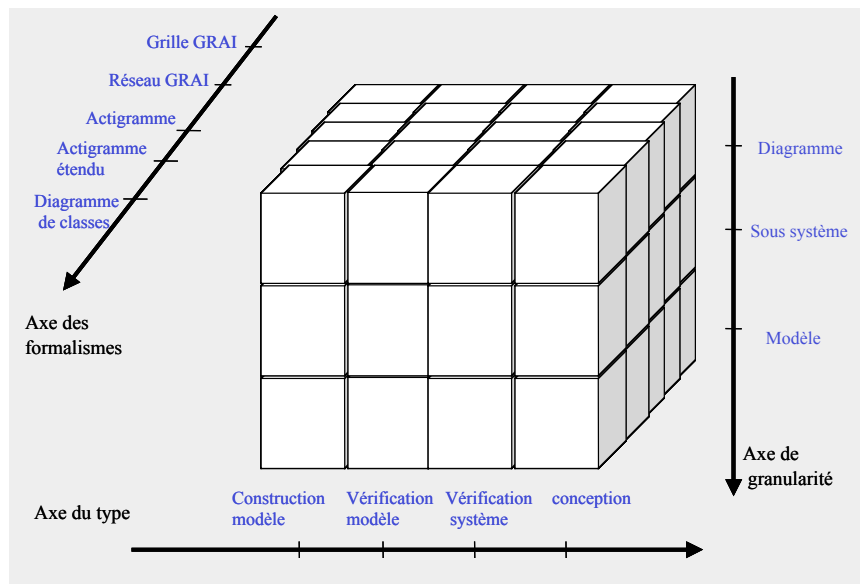


Figure III-8 : Organisation de la base de règles

Chaque classe de règles obtenue en suivant le premier axe, est classée en sous-classes correspondant aux classes du deuxième axe. De même chaque sous-classe ainsi obtenue est à son tour classée en sous-catégories en suivant le troisième axe.

En considérant le premier axe de classification, nous définissons quatre types de règles par rapport à la finalité de ces dernières. Ce sont les règles pour :

- ☞ la Construction de modèles décrivant le bon usage des formalismes GRAI pendant la phase de modélisation,
- ☞ la Vérification de modèles constituant le niveau le plus simple de diagnostic et vérifiant si les modèles établis ont un sens. Elle intervient à la fin de la phase de modélisation et au début de la phase de diagnostic,
- ☞ la Vérification de système représentant les véritables règles de diagnostic ; elles sont établies afin de ne pas empiéter sur la conception ; elles ne jouent que leur rôle de détection de dysfonctionnements ; elles sont utilisées pendant la phase de diagnostic ; les règles de vérification (de modèle et de système) constituent les règles de diagnostic,
- ☞ la Conception correspondant à de nouvelles règles élaborées pour aider le concepteur pendant la phase de conception.

Cet axe impose un ordre chronologique suivant lequel les règles sont utilisées au cours de la démarche de GIM.

Le deuxième axe de cette classification (granularité) divise chacun des types de règles précédentes en trois groupes de règles. Elles sont relatives à un diagramme, à une vue (sous-système) ou à un modèle. L'axe des formalismes découpe alors chaque groupe en catégories. Nous obtenons ainsi par groupe cinq catégories de règles liées au formalisme :

- ☞ Actigramme utilisé pour les modèles physique et fonctionnel,
- ☞ Grille GRAI utilisée pour le modèle décisionnel global,
- ☞ Réseau GRAI concernant le modèle décisionnel local,
- ☞ Actigramme Etendu concernant le modèle processus,
- ☞ Diagramme de classes concernant le modèle informationnel.

Ces trois axes définissent des cubes (catégories de règles), utilisés par l'utilisateur en fonction du stade auquel il se trouve au cours de la démarche de GIM.

### 3.2.5.1 Règles de construction de modèles

Les règles de construction de modèle sont généralement vérifiées au niveau de l'interface et peuvent être considérées comme des règles de modélisation. En effet, elles concernent l'éditeur graphique et sont utilisées pour réaliser les modèles. Elles sont incontournables et répondent toutes à une question essentielle : « Pour un formalisme donné, qu'est ce qui est permis dans la construction d'un modèle ? ». Elles sont bâties sur le modèle « **Si Action Alors** Evaluation ». Lorsque l'évaluation n'est pas conforme, un message d'erreur est envoyé à l'utilisateur : « erreur de syntaxe ». Elles n'existent que pour le premier groupe du deuxième axe (granularité). En effet, elles interviennent directement pendant la réalisation des différents diagrammes. Le troisième axe décompose ces règles en cinq catégories.

La première catégorie comporte des règles de construction de modèles pour le formalisme 'Grille GRAI'. Elles précisent ce qui est autorisé dans l'élaboration d'une grille. L'objectif est d'aider l'utilisateur à éviter les erreurs de modélisation de la grille. Un exemple de règles de cette catégorie est :

**CMG2** : *Si un cadre de décision émis à partir d'un centre de décision CD(i) est reçu par ce même centre de décision Alors erreur de syntaxe : un cadre de décision émis par un centre de décision ne peut être reçu par ce même centre de décision*

Celles qui composent les autres catégories sont du même type. Nous distinguons ainsi, les règles de construction de modèles pour le formalisme :

- ☞ 'Réseau GRAI' ; elles aident l'utilisateur à éliminer tout ce qui ne doit pas être fait lorsque l'on construit un réseau GRAI,
- ☞ 'Actigramme' ; elles respectent le même principe que celles des catégories précédentes,
- ☞ 'Actigramme étendu' ; elles sont conçues pour élaborer des modèles processus,
- ☞ 'Diagramme de classes' ; elles ne concernent que le modèle informationnel.

Les règles de construction de modèles incitent l'utilisateur à respecter les concepts des différents formalismes utilisés dans la méthodologie GRAI. Elles sont non modifiables et doivent être respectées pour que le modèle construit soit valide.

Par ailleurs, la typologie des systèmes de production élaborée impose un nouveau découpage des règles de diagnostic. Nous retrouvons ainsi deux *groupes* :

- ☞ celles de vérification de modèles correspondant en réalité, au Modèle Conceptuel Global de Référence Décisionnel [Roboam, 1988] élargi aux autres modèles de la méthodologie GRAI,
- ☞ et celles de vérification de système représentant les véritables règles de diagnostic et qui sont propres à la classe de systèmes de production considérée.

Toutes les règles de diagnostic sont également bâties sur le modèle « **Si Action Alors Evaluation** ». Toute action dans le modèle analysé est évaluée. Toute évaluation non conforme est aussitôt relevée et annoncée à l'utilisateur, jusqu'à ce qu'une nouvelle action la rende conforme.

### 3.2.5.2 Règles de vérification de modèles

Les règles de vérification de modèles sont appliquées systématiquement, quelque soit le domaine de conception considéré. Elles servent à répondre à la question suivante : « est ce que le modèle construit a un sens ? ». C'est la première étape de diagnostic. Elles sont divisées en **groupes** en utilisant l'axe de granularité. Seuls les deux premiers **groupes** existent pour ce type de règles (diagramme et vue). Chaque **groupe** est ensuite divisé en **catégories** en utilisant l'axe des formalismes.

#### 3.2.5.2.1 Règles de vérification de modèles pour un diagramme

Dans le groupe des règles de vérification de modèles pour un diagramme, la première catégorie est celle relative au formalisme 'Grille GRAI'. Elles incitent l'utilisateur à respecter ce formalisme, mais servent aussi à éliminer dans une grille GRAI toutes les réalisations qui n'ont aucun sens. La règle suivante est un modèle représentant cette catégorie :

VMDG1 : *Si une fonction Fi ne contient aucun centre de décision Alors il y a dysfonctionnement : la fonction Fi doit contenir au moins un centre de décision !*

En effet dans une grille GRAI, il est inutile de représenter une fonction qui n'a pas de centre de décision. La grille sert pendant la phase de modélisation à représenter l'existant. Cela signifierait qu'il existe dans l'entreprise, des fonctions qui ne prennent aucune décision quelque soit le niveau décisionnel.

Les autres catégories de ce groupe sont élaborées avec le même type. Elles sont organisées en règles de vérification de modèles pour un diagramme et pour le formalisme :

- ☞ 'Réseau GRAI' ; elles s'appliquent juste sur un diagramme de réseau GRAI établi et éliminent dans le réseau toutes les représentations non conformes,

- ☞ 'Actigramme' ; elles sont utilisées aussi bien pour la vue fonctionnelle que pour le système physique et vérifient si le diagramme fonctionnel ou physique considéré a un sens,
- ☞ 'Actigramme étendu' ; elles servent pour le contrôle des diagrammes de processus établis et éliminent toutes les modélisations non conformes la modélisation,
- ☞ 'Diagramme de classes' ; elles réalisent le contrôle d'un diagramme informationnel afin d'éliminer toutes les représentations qui n'ont aucun sens.

### 3.2.5.2.2 Règles de vérification de modèles pour un modèle

Le groupe de règles de vérification pour un modèle est aussi constitué de cinq catégories. Les règles de la première sont destinées au formalisme 'Grille GRAI'. Elles servent à vérifier les liens entre différentes grilles d'une même vue du système étudié. Nous pouvons citer comme exemple de cette catégorie :

***VMVG1** : Si les fonctions principales d'une grille de pilotage ne sont pas contenues dans la grille de coordination Alors il y a dysfonctionnement : les fonctions principales de la grille de pilotage doivent être contenues dans la grille de coordination.*

Les autres catégories conduisent chacune à l'obtention des règles de vérification de modèles pour une vue et pour le formalisme considéré ('Réseau GRAI', 'Actigramme', 'Actigramme étendu', et 'Diagramme de classe').

### 3.2.5.3 Règles de vérification de système

Elles correspondent au deuxième niveau de diagnostic des systèmes de production. Elles servent à vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble. Une règle de vérification de système répond à la question « est ce que la modélisation construite reflète un fonctionnement cohérent de l'entreprise ? ». Déclencher de telles règles ne sert à rien si celles des précédentes catégories n'ont pas été vérifiées. Ce sont pour certaines des règles de cohérence GRAI relatives à un fonctionnement idéal de l'entreprise.

Mais, d'autres règles sont directement liées au contexte du système de production étudié et dépendent de la classe de référence de système de production choisie. Ainsi les catégories définies pour la vérification de système contiennent chacune des règles non seulement de cohérence GRAI, mais aussi liées au contexte et à la classification des systèmes de production. Les premières s'attaquent à la cohérence des actions enclenchées entre elles et à leur évaluation, plutôt qu'à l'évaluation de chaque action. Les dernières concernent les actions propres à un domaine de système de production donné, et leurs évaluations.



### 3.2.5.3.1 Règles de vérification de Système pour un diagramme

Elles peuvent être découpées en cinq catégories. La première est utilisée pour le formalisme 'Grille GRAI'. Elle comporte deux sous-catégories. L'une sert à la vérification de la cohérence dans cette grille (cohérence intra-grille). Un exemple de cette sous-catégorie est :

**VSDG1** : *Si il existe un centre de décision (CDi) recevant deux cadres de décision provenant de deux centres de décisions différents (CDj) et (CDk) et les centres de décision (CDj) et (CDk) ne reçoivent pas chacun des cadres de décision coordonnés par un autre centre de décision (CDl) Alors il y a dysfonctionnement : il y a des risques de conflits dans la prise de décision du centre de décision (CDi).*

En effet, un centre de décision peut recevoir deux cadres de décision de deux centres de décision différents, si ces cadres envoyés sont cohérents entre eux (figure III-9). Il est donc nécessaire que les deux centres de décision émetteurs soient eux-mêmes coordonnés par un même centre de décision.

La deuxième sous-catégorie est associée à la grille de référence de la classe de systèmes de production étudiée. Ces règles mettent l'accent sur les particularités et spécificités de la classe considérée.

Nous pouvons citer par exemple dans cette catégorie et pour les systèmes de production manufacturière en petites et moyennes séries :

**VSDG2** : *Si le centre de décision « Programme Directeur de la Production » n'existe pas dans la fonction planification Alors il y a défaut de planification*

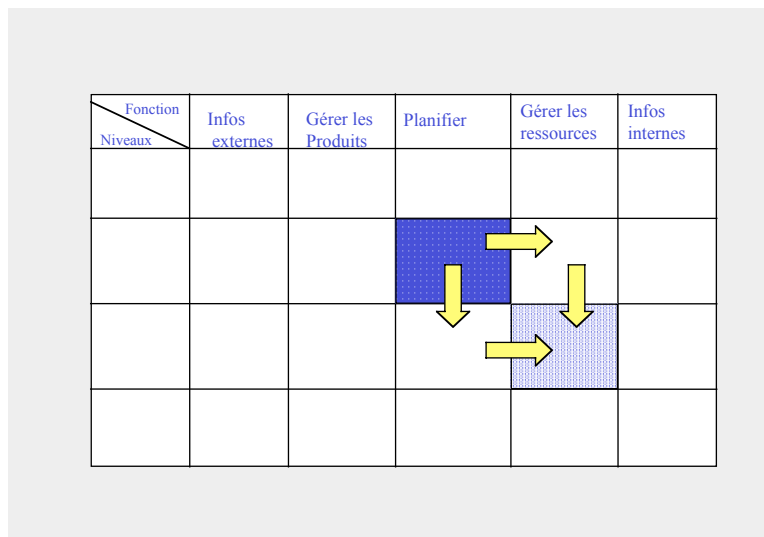


Figure III-9 : Illustration de la règle ChG1

L'absence de PDP dans ce cas est donc un dysfonctionnement du système et doit être notifié à l'utilisateur.

En effet, un système de décisions est constitué de décisions à caractère stratégique, tactique et opérationnel. L'absence d'un de ces types de décision correspond à un dysfonctionnement possible.

Dans les quatre autres catégories, nous retrouvons la même organisation. Ce sont des règles de vérification de système pour un diagramme et pour chaque formalisme ('Réseau GRAI', 'Actigramme', 'Actigramme étendu', 'Diagramme de classes').

### 3.2.5.3.2 Règles de vérification de système pour un modèle

Un modèle peut comprendre plusieurs diagrammes. Les règles sont de la même forme que celles pour un diagramme, mais englobent la cohérence inter-diagramme.

Nous distinguons également les cinq catégories relatives aux différents formalismes de la méthodologie GRAI. Pour le formalisme 'Réseau GRAI', elles s'intéressent à la cohérence inter-réseau pour un même modèle. Nous obtenons par exemple:

***VSVR2** : Si un réseau R n'émet aucun support résultat vers d'autres réseaux **Alors** il y a incohérence car tout réseau doit émettre au moins un résultat vers un autre réseau*

Chaque centre de décision par définition pilote un autre centre de décision. Il existe donc un cadre de décision partant du centre de décision pilotant vers le centre de décision piloté.

A chaque centre de décision est associé un réseau GRAI ; il est par conséquent obligatoire que le réseau du système pilotant émette un support résultat vers celui du centre de décision piloté. Lorsque l'évaluation de cette action est non conforme le système expert prévient l'utilisateur du dysfonctionnement détecté.

### 3.2.5.3.3 Règles de vérification de système pour un ensemble de modèles

Elles sont destinées à l'étude de la cohérence inter-modèle. En effet, il peut y avoir plusieurs modèles interconnectés. Il convient alors de pouvoir vérifier si elles sont compatibles et cohérentes.

Nous distinguons quatre catégories correspondant chacune aux relations entre deux formalismes de la méthodologie GRAI. Nous pouvons donner comme exemple :

***VMEM1** : Si il existe un cadre de décision allant d'un centre de décision CD(i) vers un centre de décision CD(j) et les informations de suivi provenant du réseau de CD(j) vers le réseau de CD(i) n'existent pas **Alors** il y a incohérence*

Cette règle vérifie le principe de pilotage, c'est-à-dire le fait que lorsqu'il existe un cadre de décision, il faut toujours une information qui rend compte des résultats obtenus par le centre de décision piloté. Il est donc normal, que des règles vérifient l'harmonisation de toutes les actions déclenchées dans chaque modèle et les évaluent entre elles pour détecter d'éventuels dysfonctionnements. Un autre exemple de règles utilisées pour la cohérence inter-modèle est :

**VMEM2** : *Si le cycle de l'activité physique modélisée est supérieur à l'horizon du centre de décision pilotant Alors Il y a incohérence : l'horizon du centre de décision pilotant doit être supérieur au cycle de l'activité physique pilotée.*

Cette règle sert à vérifier la cohérence entre les modèles décisionnel et physique (figure III-10).

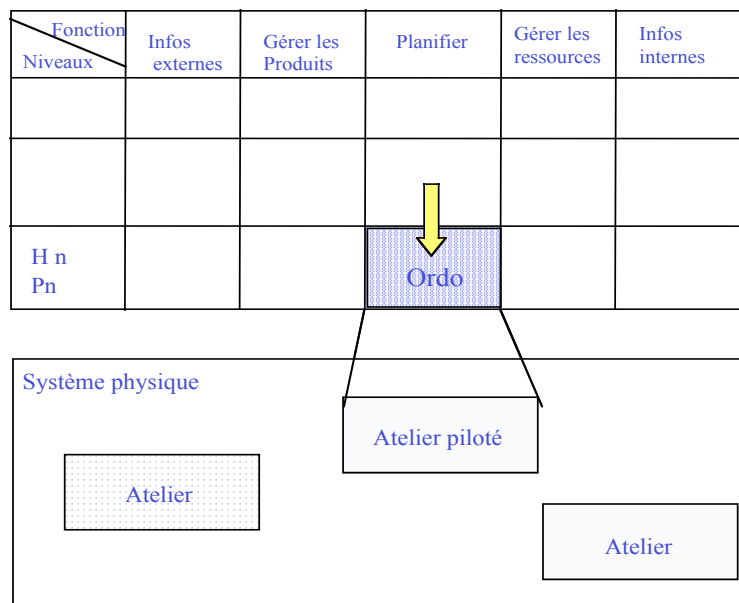


Figure III-10 : Illustration de la règles Gch10

L'activité physique étant directement pilotée par le centre de décision, les décisions prises par ce dernier ont trait à la mise en œuvre de cette activité et à l'amélioration de ses performances. L'horizon de prise de décision ne doit donc pas être inférieur au cycle de l'activité.

Les règles de diagnostic sont essentiellement utilisées pendant la phase de diagnostic et conduisent à l'obtention de tous les dysfonctionnements du système. Le résultat de la phase de diagnostic est un ensemble de points forts du système et un ensemble de points à améliorer qui ont été déduits des dysfonctionnements détectés.

#### 3.2.5.4 Règles de conception

Le troisième type de règles est constitué des règles dites de conception qui sont utilisées pendant la phase de conception de la méthode GIM. Ce sont des règles de la forme « **Si** Evaluation **alors** Réaction ». Ces règles sont directement associées aux différentes évaluations des règles de diagnostic. Pour un dysfonctionnement détecté, la règle de conception fournit l'action à réaliser pour le corriger. C'est une aide fournie au concepteur et qui permet de l'orienter dans ces décisions.

La conception des systèmes de production nécessitant une partie de créativité de la part des concepteurs, les règles élaborées portent sur des généralités de conception et sur les corrections incontournables. Nous avons donc établi une classification des règles de conception prenant en compte ces distinctions. Nous distinguons les règles générales de conception et les règles qui dépendent de la classification des systèmes de production, liées également au contexte.

##### 3.2.5.4.1 Les règles générales de conception

Ce groupe de règles intervient sur les dysfonctionnements détectés. Elles sont déduites des règles générales de gestion de production et des règles de diagnostic du modèle GRAI. Elles couvrent donc tous les systèmes de production en général mais aussi les spécificités propres au modèle GRAI. Nous trouvons donc des règles générales de conception pour chacun des modèles de la méthodologie GRAI c'est-à-dire les modèles fonctionnel, informationnel, physique, processus et décisionnel.

Pour le modèle physique par exemple (idem pour le modèle fonctionnel et le modèle processus car ils utilisent le même formalisme), la règle suivante est utilisée pour corriger l'absence de flux (entrée, sortie, contrôle et mécanisme) au niveau d'une activité :

GCGPA1 : *Si un flux (entrée, sortie, contrôle ou mécanisme) est manquant **alors** il faut créer ce flux.*

Si l'activité considérée n'a aucun autre lien (flux de sortie, flux de contrôle etc.), elle est inutile et il convient de la supprimer. Cette réaction par rapport au dysfonctionnement détecté est suggérée au concepteur qui peut ne pas la choisir en fonction des arguments dont il dispose (liberté de créativité).

Par contre, il peut décider de la garder s'il existe d'autres flux au niveau de l'activité, le concepteur se doit de créer un flux d'entrée.

Les règles de conception peuvent également être inter-modèle. Nous obtenons ainsi :

GCGPR1 : *Si il existe un cadre de décision allant de  $CD(i)$  vers  $CD(j)$  et des informations de suivi provenant du réseau associé à  $CD(j)$  vers le réseau associé à  $CD(i)$  n'existent pas **Alors** créer des informations de suivi allant du réseau de  $CD(j)$  vers le réseau associé à  $CD(i)$*

#### 3.2.5.4.2 Règles dépendant de la classification des systèmes de production et liées au contexte

Ces règles concernent directement les domaines de conception définis. Ce sont donc des réactions suggérées au concepteur par rapport aux dysfonctionnements détectés lors de la phase de diagnostic (correction du résultat des vérifications de modèle et de système).

Dans le domaine des systèmes de production manufacturière et en petites et moyennes séries par exemple, nous avons établi entre autres la règle suivante, principalement en rapport avec la fonction 'Planifier' de la grille de référence :

**CC1SP1** : *Si le centre de décision « Programme Directeur de la Production » n'existe pas dans la fonction planification  
Alors créer un centre de décision PDP dont l'horizon correspondra au cycle de production*

Ces règles de conception existent également pour tous les autres modèles de la méthodologie GRAI. Elles sont complétées au fur et à mesure que des études sont effectuées dans les domaines de systèmes de production. Ce sont des règles qui proviennent de l'expérience et du savoir-faire des utilisateurs du domaine considéré.

A partir d'une définition générale de la connaissance, nous avons modélisé la connaissance en conception de système de production. Trois modes de représentation de la connaissance ont été proposés. Chacun d'eux a été détaillé dans le but de faciliter la structuration de la connaissance afin de pouvoir mettre en place une aide au diagnostic et à la conception de système de production.

Ainsi, les modèles de référence seront utilisés au cours de la phase de conception des systèmes de production. Ils ont été classés en utilisant une nouvelle typologie et correspondent à un domaine de systèmes de production.

Nous avons également proposé, une utilisation de la connaissance sous forme de règles pour les phases de modélisation, diagnostic et conception de la démarche de GIM. En effet, les règles de diagnostic de l'ancien système expert GIMXpert, se décomposent en trois classes [Moudden, 1997]: les règles de fonctionnement de systèmes de production, celles de fonctionnement inhérent au type de système de production étudié et celles de fonctionnement liées au domaine considéré. Nous avons étendu cette classification à plusieurs axes.

Une nouvelle classification des règles a alors été présentée, définissant des règles de construction de modèle, de vérification de modèle, de vérification de système et des règles de conception, utilisées au cours des différentes phases de la démarche de GIM. Enfin nous avons représenté la connaissance sous forme de cas d'étude pour garder une trace des différentes études effectuées, mais également en vue d'une éventuelle réutilisation (CBR).

### 3.3 Conclusion

Nous avons effectué une modélisation des connaissances en conception de systèmes de production dans le but d'élaborer les spécifications d'un système d'aide à l'expertise (GRAIXpert). Des représentations de la connaissance explicite ont été proposées : les règles utilisées, ont été classées en fonction des phases de la démarche de GIM et les modèles de référence liés au domaine du système de production étudié. Une représentation de la connaissance sous forme de cas d'étude a aussi été présentée. Elle sert à l'acquisition de la connaissance tacite (implicite). En effet, la connaissance non formalisée, des experts de la méthode et surtout du domaine de système de production, se trouve dans les modèles élaborés. Les cas d'étude permettront donc à terme, l'utilisation de cette connaissance tacite pour la conception de nouveaux systèmes de production.

Nous avons proposé une classification des règles en suivant trois axes : le formalisme considéré, la finalité de la règle (type) et la granularité (modèle et son environnement). Nous proposons ainsi des règles de modélisation, de diagnostic mais aussi de conception.

La connaissance ainsi modélisée pourra être utilisée au cours d'un processus de conception de la démarche de GIM ainsi que pour l'élaboration du système expert d'aide au diagnostic et à la conception de systèmes de production







*« Même s'il est aujourd'hui choquant de l'énoncer ainsi, nous sommes convaincus que savoirs scientifiques et savoirs pratiques ont plus de raisons d'être distingués que réunis. Ils relèvent en effet de deux démarches dont l'une est centrée sur l'objet scientifique l'autre sur le réel, démarches qui ne correspondent pas à un même niveau de complexité. L'erreur serait sans doute de rejeter l'une au profit de l'autre puisqu'il s'agit de deux modes de connaissance ayant chacun leur système de représentation. » [BIGREL, 2001]*

---

---

## **CHAPITRE 4**

### PROCESSUS DE CONCEPTION

---

---



## Table des matières

4.1. Introduction.....	101
4.2. Processus de conception global.....	102
4.3. Conception du système décisionnel .....	105
4.3.1. Choix du modèle de référence .....	105
4.3.2. Evaluation.....	108
4.3.3. Conception préliminaire.....	109
4.3.4. Conception détaillée.....	119
4.3.5. Conception de réseaux GRAI .....	120
4.4. Conclusion .....	122



## 4.1 Introduction

La réorganisation des systèmes de production impose aux méthodologies utilisées de disposer d'un processus de conception. Deux processus de conception existent pour la méthodologie GRAI : l'approche de Zanettin [ZANETTIN, 1994] et le processus de GIMCase [MOUDDEN, 1997].

L'approche de Zanettin est sur le plan conceptuel d'un apport intéressant pour la phase de conception de la démarche de GIM tant au niveau des raisonnements utilisés (décomposition, hiérarchisation) que dans la définition de concepts comme les variables de conception. Cependant elle reste conceptuelle et il est difficile de lui associer une aide informatique.

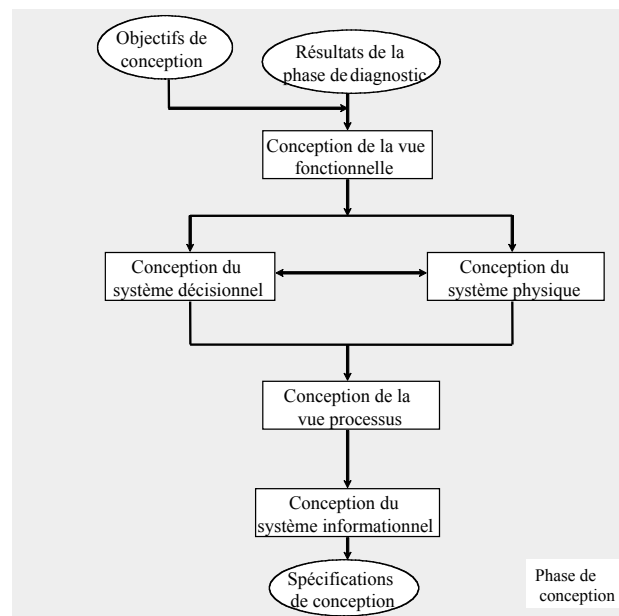
Le processus de GIMCASE est basé sur le raisonnement à partir de cas et permet entre autre une capitalisation des connaissances acquises au cours des études GRAI en vue de leur réutilisation. Il est par contre peu utilisé par les experts de la méthodologie GRAI en raison du peu d'études dans la base de cas de l'outil.

Il est donc indispensable d'élaborer un nouveau processus de conception pour la méthode GIM. Dans ce chapitre, nous présentons les différentes étapes de ce processus de conception. Nous focalisons notre attention sur la sous-phase de conception du système décisionnel. Ainsi nous détaillons les concepts utilisés dans les différentes macro-étapes composant cette sous-phase. Nous montrons également l'utilité de disposer de phases entièrement formalisées mais également de tenir compte de l'expérience des experts du domaine de conception et de la méthodologie GRAI.

## 4.2 Processus de conception global

L'objectif de ce chapitre est d'élaborer un processus comportant non seulement des étapes formalisées de la conception mais aussi celles faisant appel à l'expertise humaine (experts de la méthodologie GRAI et de l'entreprise étudiée). Ce processus s'intègre dans la méthode GIM et tient compte de la manière dont la conception est réalisée actuellement par les experts de la méthode GRAI (voir figure IV-1).

Figure IV-1 : Principales étapes de la phase de conception de GIM



En effet, l'ordre de réalisation des différentes conceptions n'est pas aléatoire. La conception de la vue fonctionnelle est effectuée en premier parce qu'elle donne la structure de base en terme de fonctions qui est le mode de représentation le plus commun. Elle permet de détecter des absences des fonctions importantes pour une entreprise. Elle est effectuée à partir des résultats de la phase de modélisation /diagnostic de la méthode GRAI, et des objectifs de conception ; nous utilisons les modèles de référence (voir chapitre 3) de la vue fonctionnelle ; le résultat de cette sous-phase est la vue fonctionnelle du futur système,

Les conceptions des systèmes décisionnel et physique sont ensuite réalisées en parallèle, d'une part, parce que le système physique est le métier : ce que l'on produit, donc la production. D'autre part, le système décisionnel est le pilotage du système physique. Cependant il existe un décalage entre les deux conceptions dû au fait qu'il faut savoir ce que l'on pilote (physique) avant de définir comment on le pilote (décision).

Nous ne formalisons pas la conception du système physique en raison de la diversité des systèmes pouvant exister et de la difficulté à établir un modèle de référence de système physique ; d'autre part cette sous-phase nécessite pour la réalisation d'un modèle physique de référence, de faire appel à différentes techniques comme l'Analyse de flux, la Technologie de groupe et la simulation. Nous laissons donc au concepteur et au groupe de synthèse la liberté de conception nécessaire ; le résultat de cette sous-phase est le modèle du nouveau système physique.

Nous aborderons largement dans ce chapitre la conception du système décisionnel ; cette sous-phase est réalisée à partir des résultats de diagnostic et des objectifs de conception ; le résultat de cette sous-phase est le modèle du nouveau système décisionnel, c'est-à-dire la grille GRAI de conception et les réseaux GRAI associés.

La vue processus est une vision transversale du fonctionnement du système de production. Elle est donc conçue après les trois précédentes. Elle est conçue avec le même principe que la vue fonctionnelle et le modèle décisionnel global du système décisionnel ; cette conception se fait à partir des modèles de référence de processus préétablis et des résultats de la phase de diagnostic ; le résultat de cette étape est la vue processus du futur système.

Le système d'information est conçu en dernier, lorsqu'on connaît toute la structure et les fonctions de l'entreprise (fonctions, physique, décision et processus). La structure informationnelle doit être déduite de la structure et des fonctions de l'entreprise. La gestion de la conception du système physique sera laissée au concepteur et au groupe de synthèse. Nous ne nous sommes pas intéressés à cette sous phase.

Remarque : En fait le processus de conception n'est pas linéaire (les quatre premières phases se déroulent quasiment en parallèle) mais de nombreux aller et retour sont réalisés entre les différentes conceptions.

La phase de conception correspond à celle au cours de laquelle :

- ✓ tous les dysfonctionnements détectés sont corrigés
- ✓ et les objectifs sont satisfaits.

Pour les 3 sous-phases choisies nous disposons de connaissances formalisées sous forme de modèles de référence (fonctionnel, décisionnel, processus). Chacune de ces sous-phases est divisée en macro-étapes, qui sont à leur tour composées d'étapes (figure IV-2).

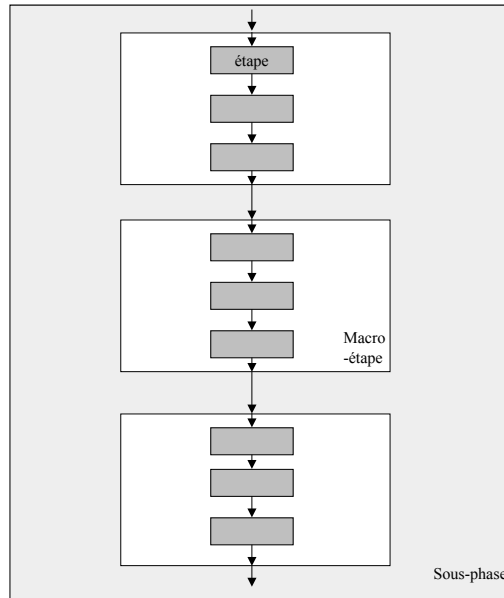


Figure IV-2 : décomposition de chaque sous-phase

Un modèle de référence peut être vu comme un modèle général, représentant des habitudes communes à un ensemble particulier d'entreprises. Autrement dit, il représente des caractéristiques communes à un domaine particulier d'entreprises. L'utilisation de modèles de référence au cours de la phase de conception, est une des propositions de cette thèse. La représentation de la connaissance sous forme de modèles de référence a été traitée plus en détail dans le chapitre 3. Chacune des trois sous-phases considérées (fonctionnelle, décisionnelle et processus) est dotée d'un processus automatisé que nous aborderons dans la suite de ce chapitre.

On obtient à la fin de la phase de conception le modèle cible du système de production ou de l'entreprise. De ce modèle sera déduit les spécifications de conception.



### 4.3 Conception du système décisionnel

Nous nous intéressons à l'élaboration du modèle du système décisionnel. Cette sous-phase est composée d'une partie formalisée et d'une autre correspondant à l'adaptation de la première aux spécificités de l'étude en cours (experts de la méthodologie GRAI et de l'entreprise). Nous définissons dans cette sous-phase cinq macro-étapes. Les quatre premières conduisent à la conception du modèle décisionnel global et la dernière celle du modèle décisionnel local (figure IV-3).

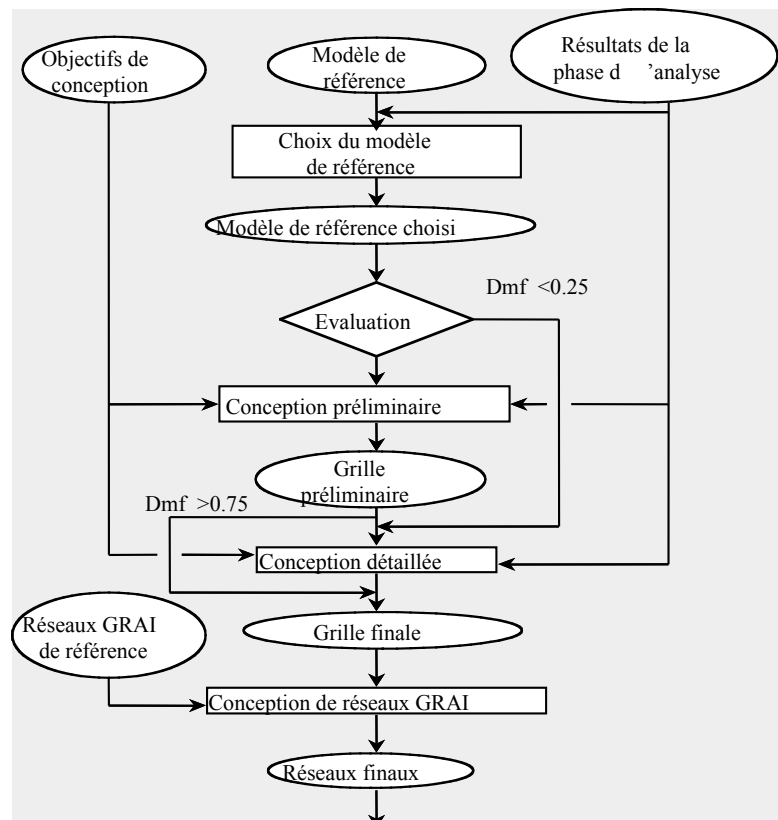


Figure IV-3: Conception du Système décisionnel

Pour cette sous-phase, nous utilisons les modèles de référence décisionnels (grilles de référence pour la conception du modèle décisionnel global et réseaux de référence pour la conception du modèle décisionnel local) définis dans le chapitre 3.

#### 4.3.1 Choix du modèle de référence

La première macro-étape « Choix du modèle de référence » est composée de trois étapes : sélection des critères importants, recherche de la classe de référence et acquisition des connaissances contextuelles.

#### 4.3.1.1 Sélection des critères

La première étape répond aux questions sur les critères considérés comme pertinents i.e. ceux ayant permis l'élaboration des classes de référence. Nous avons choisi comme critères pertinents la *répétitivité de la production*, ainsi que le *type de production*, afin de définir les classes de modèles de référence de systèmes de production. D'autres critères peuvent éventuellement être ajoutés pour affiner ou améliorer la classification. L'objectif est de pouvoir définir non plus des cas de conception correspondant aux anciennes études, mais des modèles de référence correspondant à une classe donnée de système de production. Le problème du faible nombre de cas disponibles pour une application efficace du CBR est ainsi résolu, et nous n'avons, pour un domaine donné, plus qu'à adapter le modèle de référence choisi à l'étude en cours.

#### 4.3.1.2 Recherche de la classe de modèles de référence

La deuxième étape consiste, sur la base de critères de systèmes de production jugés pertinents, à trouver dans une bibliothèque de classes de modèles de référence préalablement établies, celle correspondant à l'étude concernée et ainsi en déduire la grille de référence qui lui est associée.

Cette étape permet donc de trouver la grille de référence correspondant à l'étude en cours. Il suffit de répondre à des questions sur l'étude courante pour trouver la classe de modèles de référence correspondant à celle-ci. Ainsi pour l'étude courante, il suffit de donner les valeurs des critères sélectionnés précédemment afin de trouver la classe de modèles de référence correspondant à l'étude.

Soit  $C$  l'ensemble des classes de modèles de référence et  $G$  celui des grilles de référence, nous définissons une application  $f$  de  $G$  vers  $C$ , c'est-à-dire qu'à chaque élément  $G_i$  (grille de référence) de  $G$  correspond un seul élément  $C_j$  (classe de référence) de  $C$  :  $f(G_i) = C_j$ .

$n$  étant le nombre de classes de référence préalablement établies, nous avons :

$$C = \{ C_1, C_2, \dots, C_n \} \text{ et } G = \{ G_1, G_2, \dots, G_m \} \quad \text{avec } m \geq n$$

Réciproquement nous associons à chaque classe de référence au moins une grille.

Le modèle de référence correspondant à l'étude est trouvée grâce à un choix entre les grilles de référence de la classe de modèles de référence trouvée. Ce choix est fait à partir de questions différenciant les grilles de référence de la classe (combien de grille contient la classe  $C_j$  détectée ? les fonctions approvisionnements et achats existent-elles dans l'entreprise ? etc.)

Soit  $G_i$  la grille de référence correspondante. Cette grille de référence est considérée comme une structure globale. On définit dans  $G_i$  les objets  $O_{jk}$  correspondant chacun à un centre de décision.

Chaque grille de référence  $G_i$  est donc composée de  $l \times p$  objets. On décompose la structure globale en  $l \times p$  objets, et concevoir la grille préliminaire qui est une partie de notre grille de référence revient à concevoir chacun des objets lui appartenant. Chaque centre de décision est composé de deux attributs : le niveau décisionnel  $N_j$  et la fonction  $F_k$ .

Soit  $O_{jk} = N_j \times F_k$  avec  $j \in \{1, 2, \dots, l\}$  et  $k \in \{1, 2, \dots, p\}$

Chaque objet (centre de décision) est entièrement défini par ses attributs (niveau décisionnel et fonction). Soit  $N$  l'ensemble des niveaux décisionnels :  $N = \{N_1, N_2, \dots, N_l\}$  avec  $l \leq 5$  et l'ensemble des fonctions  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_p\}$  avec  $p \geq 3$ . Il est à noter qu'un attribut  $N_j$  correspond au couple horizon/période  $(H_j, P_j)$ .

La grille préliminaire est un sous-ensemble de la grille de référence. Autrement dit, c'est l'ensemble des objets de la grille de référence qui ont été validés.

#### 4.3.1.3 Acquisition des connaissances contextuelles

La troisième étape sert à recueillir la totalité des connaissances d'ordre contextuel sur l'étude courante pour mieux identifier les niveaux décisionnels et les fonctions de la grille de référence. La structure des cadres de décision (en arête ou en râteau (figure IV-4)) est fixée, les flux d'information sont placés. Cette étape revient à acquérir le contexte de l'étude courante afin de l'utiliser dans la conception. On entend par contexte de l'étude, l'ensemble des informations permettant de classifier un système de production.

Le résultat de cette étape permet d'identifier le type de modèle de référence.

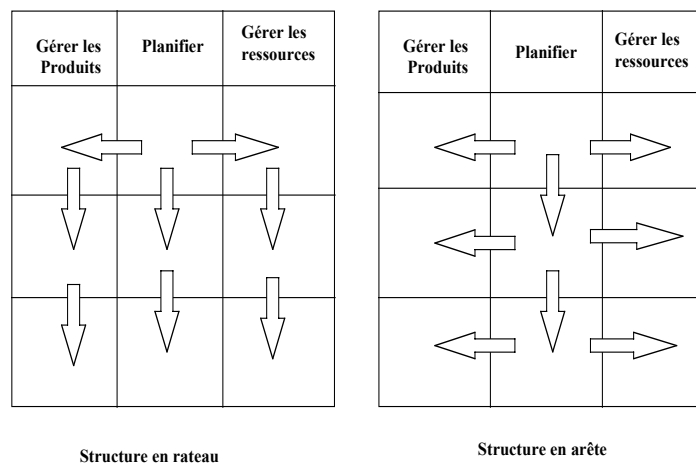


Figure IV-4 : Structures relative aux cadres de décision

### 4.3.2 Evaluation

Au cours de cette macro-étape, la grille d'analyse de l'étude en cours est comparée avec la grille de référence GRAI obtenue lors de la première macro-étape. Cette évaluation est effectuée en calculant un coefficient appelé degré de modification. Il est obtenu par l'utilisation de la logique floue pour vérifier la similarité entre le contexte associé au modèle de référence et celui de l'étude en cours. Si ce degré de modification est inférieur à 0.25, on choisit la grille d'analyse de l'étude en cours comme grille de conception préliminaire et on passe directement à l'étape de conception détaillée.

Si le degré de modification est supérieur à 0.25, l'étape de conception préliminaire est réalisée, suivie de celle de conception détaillée. Si le degré de modification est supérieur à 0.75, la grille obtenue après la conception préliminaire est considérée comme grille de conception et l'étape de conception détaillée est donc optionnelle. Les nombres 0.25 et 0.75 ont été déduits par l'expérience acquise au cours des anciennes études GRAI.

Le degré de modification  $d_m$  est calculé en utilisant des attributs auxquels on affecte des poids. Nous pouvons par exemple citer comme attribut d'une grille GRAI le cadre de décision, la fonction, etc.

Soit  $R$  correspondant à l'ensemble des caractéristiques de la grille d'analyse :

$R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$  avec  $R_i = (attR_i, valR_i, rangR_i)$ ,  $i \in \{1, \dots, n\}$  où  $attR_i$ ,  $valR_i$  et  $rangR_i$  correspondent respectivement au nom de l'attribut de la caractéristique  $R_i$ , sa valeur et son rang.

D'autre part, une grille de référence est associée à un ensemble de caractéristiques  $R_{ref}$  tel que :  $R_{ref} = (R_{ref_1}, R_{ref_2}, \dots, R_{ref_n})$  avec  $R_{ref_j} = (attR_{ref_j}, valR_{ref_j}, RangR_{ref_j})$ ,  $j \in \{1, \dots, n\}$  où  $attR_{ref_j}$ ,  $valR_{ref_j}$ , et  $rangR_{ref_j}$  sont respectivement le nom de l'attribut, sa valeur et son rang.

Les caractéristiques de la grille d'analyse sont comparées une par une avec celles de la grille de référence. Il existe alors deux possibilités : soit l'attribut de la caractéristique  $R_{ref_j}$  est présent en tant qu'attribut d'une caractéristique  $R_i$ , soit il ne l'est pas. Autrement dit :

$$\bullet \quad \exists i \in \{1, \dots, n\} \text{ et } j \in \{1, \dots, n\}, attR_i = attR_{ref_j} \quad (1)$$

$$\bullet \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \text{ et } j \in \{1, \dots, n\}, attR_i \neq attR_{ref_j} \quad (2)$$

La première formule (1) correspond au cas où l'attribut d'une caractéristique de la grille de référence apparaît dans la grille d'analyse, il prend la valeur 1.

Dans le cas où l'attribut d'une caractéristique de la grille de référence n'apparaît nulle part dans la grille d'analyse (2), il n'y a aucune similitude pour cette caractéristique dans les deux grilles. La valeur 0 est donc associée à cet attribut.

$$\mathbf{attR}_i = \mathbf{0} \text{ si } attR_i \neq attR_{refj} \text{ et } \mathbf{attR}_i = \mathbf{1} \text{ si } attR_i = attR_{refj}$$

Par ailleurs, une pondération est associée à chaque caractéristique de la grille de référence en fonction de son importance, de manière à ce que la somme des poids de toutes les caractéristiques soit égale à 100. Si  $w_1, w_2, \dots, w_n$  sont les poids associés aux caractéristiques  $R_{ref1}, R_{ref2}, \dots, R_{refn}$ , on a :

$$\sum_{j=1}^n w_j = 100$$

En définitive, pour une grille d'analyse donnée le *degré de modification* est égal à :

$$d_m = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (attR_i * w_i)}{\sum_{j=1}^n w_j} \right) \text{ avec } d_m \in [0,1].$$

L'évaluation terminée, le résultat est transmis au gestionnaire qui décide de la macro-étape suivante.

### 4.3.3 Conception préliminaire

La conception préliminaire est réalisée lorsque le degré de modification calculé précédemment est supérieur à 0.25. Dans cette partie, nous présentons une approche basée sur les concepts des théories de conception. L'objectif est de concevoir un modèle décisionnel idéal. C'est la vision du concepteur à la fin de la phase d'analyse. Elle ne tient pas compte de toutes les spécificités de l'entreprise étudiée.

La grille GRAI est définie comme une structure globale. Dans une grille de référence, les centres de décision sont tous connus et bien définis. Chacun est considéré comme un objet.

La macro-étape « conception préliminaire » est composée de deux étapes :

- ☞ La première donne les centres de décision intervenant dans la conception de la grille préliminaire (validation de la grille GRAI). Ce problème est résolu en identifiant les besoins fonctionnels associés à chaque centre de décision du modèle de référence.
- ☞ La deuxième propose une structure de cadre de décision (en râteau ou en arête) et les liens d'information (validation des flux informationnels et décisionnels). Cette étape établit le lien entre chaque centre de décision et son environnement.

La réalisation de cette macro-étape nécessite l'élaboration de concepts théoriques de base, qui seront utilisés pour développer un processus de conception formel.

#### 4.3.3.1 Concepts théoriques de base

Nous présentons dans ce chapitre une approche formelle qui permet d'expliquer et de formaliser un processus de conception.

Cette approche est fortement influencée par différents travaux effectués sur les théories de conception [Yoshikawa, 1981], [Suh, 1990], [Takeda et al., 1992], [Tomiya, 1995], [Treur, 1989], [Grabowski et al., 1995, 1999], [Maimon et Braha, 1997].

Dans cette approche, la conception est la spécification d'un nouvel artefact obtenu par une combinaison d'artefacts connus existants. C'est un processus itératif qui manipule la connaissance sur les artefacts existants pour créer, spécifier un nouvel artefact satisfaisant une liste de besoins comme illustré dans la figure IV-5. Par conséquent les composants de base (artefact, connaissance et processus) de cette théorie doivent être modélisés de manière explicite.

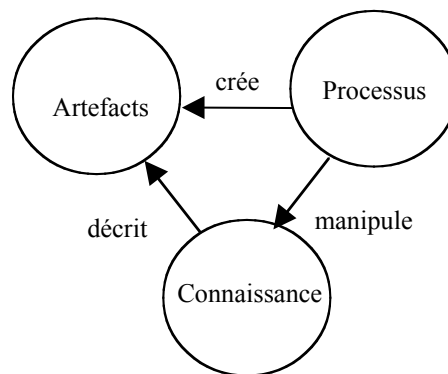


Figure IV-5 : Les trois composants de base de la théorie de conception

#### (a) Artefacts

L'artefact est au cœur de la conception. Il existe de nombreux travaux sur les concepts de bases relatifs à la représentation d'un artefact notamment le modèle d'Andreasen issu de la théorie proposée par Hubka [Hubka, 1988]. Le modèle proposé stipule qu'un artefact peut être spécifié par des ensembles de descriptions de propriétés  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  et de structures  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$  déterminant les propriétés. Une propriété est une qualité propre, une caractéristique intrinsèque (comportementale, fonctionnelle, structurelle ou organique, dépendante ou non du temps) que doit posséder une entité (un système, un modèle, une entité de modélisation, un phénomène, etc.).

Toute propriété traduit une attente, une exigence, une finalité à laquelle l'entité doit répondre [Chapurlat, 2001]. Une structure est définie lorsque l'ensemble des entités et des liaisons entre celles-ci sont connues.

L'ensemble  $\{S\}$  peut donc être une description d'entités ou une description de liaisons. Les éléments de propriété et de structure sont décrits en détail par des attributs (paramètres). Les descriptions d'attribut peuvent être de formes variées par rapport à la nature de l'artefact (mathématique, textuelle, etc.) servant à réaliser physiquement un artefact.

Au niveau conceptuel, un artefact est uniquement spécifié par les ensembles de descriptions de propriétés et structures  $\langle P, S \rangle$ . Le résultat de la conception est un ensemble de descriptions complètes  $\langle P, S \rangle$  qui décrivent de manière explicite l'ensemble des propriétés qu'un artefact peut fournir, et l'ensemble des descriptions de structure servant à le réaliser.

**(b) Connaissances**

La connaissance de conception peut être représentée par des classifications de concepts sur un ensemble d'artefacts. Le nombre d'artefacts considéré est limité. Cette connaissance peut être structurée en plusieurs niveaux comme illustré dans la figure IV-7 et peut être modélisée de manière hiérarchique.

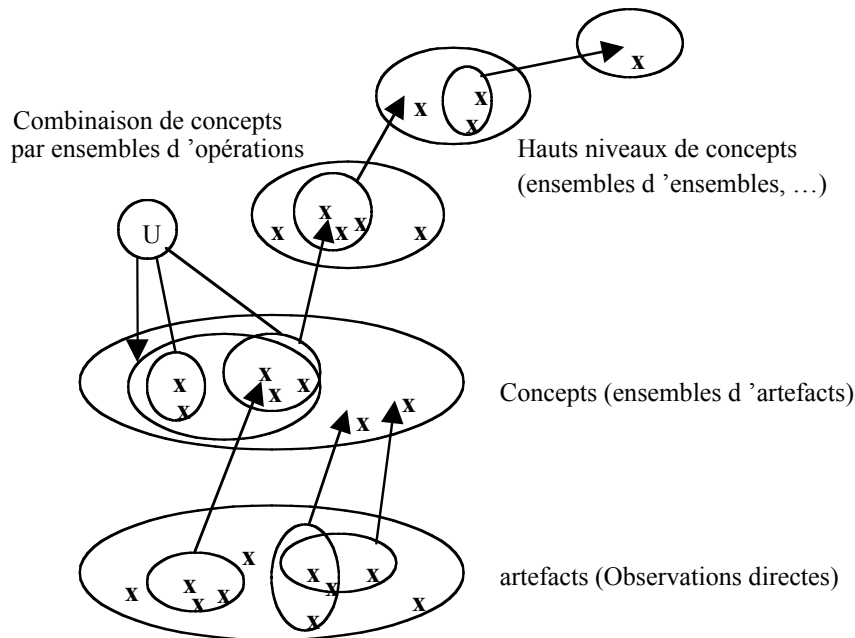


Figure IV-7: Représentation hiérarchique de la connaissance des artefacts

Le niveau le plus bas est l'ensemble des artefacts existants connus. Les concepts (propriétés par exemple) partagés par certains artefacts forment des sous-ensembles. Ceci correspond au deuxième niveau de représentation. Le troisième niveau est celui de concepts de concepts et ainsi de suite jusqu'au niveau le plus élevé.

Nous nous limitons dans nos travaux à la représentation à deux niveaux : le premier des artefacts et celui des concepts comme classifications des artefacts.

Les couples (A,P) ou (A,S) sont appelés respectivement des espaces de description de propriétés et de structures. Par exemple  $P=\{p_1,p_2, \dots\} = \{(a_1,a_2), (a_1, a_3, a_6),\dots\}$  signifie que les artefacts  $\{a_1\}$  et  $\{a_2\}$  partagent la propriété  $p_1$  et  $\{a_1\}$ ,  $\{a_3\}$  et  $\{a_6\}$  la propriété  $p_2$ , etc.

**(c) processus**

Le processus d'ingénierie est itératif. Il transforme un état initial de spécification d'artefacts  $\{Q_0\}$  en un état final  $\{Q_n\}$  représentant les spécifications complètes d'artefacts conçus (figure IV-8).

Un état de spécifications d'artefacts obtenu après  $(i-1)^{ème}$  transformation est  $Q_i=\{P_i^+, P_i^-, S_i^+, S_i^-\}$  où  $P_i^+$  est l'ensemble des propriétés désirées satisfaites par les transformations précédentes,  $P_i^-$  l'ensemble des propriétés à satisfaire par les transformations à venir,  $S_i^+$  l'ensemble des descriptions de structures validées fournissant celui de propriétés  $P_i^+$ ,  $S_i^-$  celles de structures qui ne sont pas encore validées. L'état initial est représenté par  $Q_0=\{P_0^-, S_0^-\}$ . Il indique que les besoins initiaux de conception en situation réelle de conception contiennent non seulement les futures propriétés d'artefacts désirées (fonctionnalité...) mais aussi les éléments de structure (énergie, ..). L'état final est  $Q_n=\{P_n^+, S_n^+\}$ .

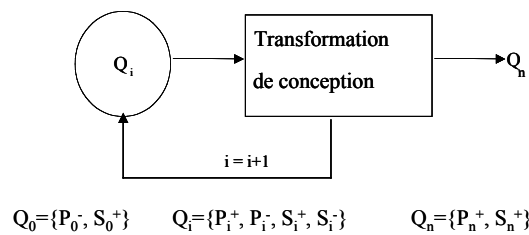


Figure IV-8 : Processus d'ingénierie comme une transformation des états de l'artefact

Il existe trois principaux types de transformation : la synthèse (Ts), l'analyse (Tp) et le raffinement (Tr) (figure IV-9). Une transformation de conception  $i$  est accomplie par un de ces trois sous-processus. En d'autres termes, l'état des spécifications d'artefact est changé lorsqu'un des trois processus est exécuté.

La **synthèse** Ts permet la transformation des descriptions de propriétés désirées en descriptions de structures, la transformation de  $Q_i$  en  $Q_{i+1}$  :

$$\{P_i^+, P_i^-, S_i^+, S_i^-\} \times Ts \rightarrow \{P_{i+1}^+, P_{i+1}^-, S_{i+1}^+, S_{i+1}^-\}$$

où Ts correspond à des opérations d'ensemble  $\langle \cap, \cup \rangle$  réalisées sur (A, P) et (A, S). Pour un ensemble donné de propriétés désirées  $\{p_1, p_2, \dots, p_n\} \in P_i^+, p_1 \cap p_2 \dots \cap \rightarrow \{a_1, a_2, \dots\} \in A$  et  $a_1 \cap a_2 \dots \cap \rightarrow \{s_1, s_2 \dots\} \in S$ .



Ce processus identifie dans l'espace des descriptions de propriétés (A,P), un ensemble d'artefacts existants  $\{a_1, a_2, \dots\} \in A$  satisfaisant une partie des propriétés exigées de  $P_i^+$ . Ensuite l'intersection de ces artefacts avec l'espace de description de structure (A,S) conduit à l'identification des descriptions de structures satisfaisantes  $S_{i+1}^+ = \{s_1, s_2, \dots\}$  correspondant aux propriétés jointes à  $P_{i+1}^+$ . Les propriétés non satisfaites sont alors mises dans  $P_{i+1}^-$  ( $P_{i+1}^+ + P_{i+1}^- = P_i$ ).

L'**analyse** Ta est le processus inverse de la synthèse c'est-à-dire la transformation des descriptions de structures en descriptions de propriétés et la transformation de  $Q_i$  en  $Q_{i+1}$  :

$\{P_i^+, P_i^-, S_i^+, S_i^-\} \times Ta \rightarrow \{P_{i+1}^+, P_{i+1}^-, S_{i+1}^+, S_{i+1}^-\}$  où Ta correspond aux opérations d'ensemble  $\langle \cap, \cup \rangle$  réalisées sur (A,P) et (A,S). Par exemple, les descriptions de structures exigées à valider sont  $S_i^- = \{s_1, s_2, \dots\}$ ,  $s_1 \cap s_2 \dots \cap \rightarrow \{a_1, a_2, \dots\} \in A$  et  $a_1 \cap a_2 \dots \cap \rightarrow \{p_1, p_2, \dots\} \in P$ .

Ce processus identifie dans l'espace (A,S), un ensemble d'artefacts existants satisfaisant les descriptions de structures  $S_i^-$ . Ensuite l'intersection des artefacts dans l'espace (A,P) conduit à l'obtention des descriptions de propriétés  $\{p_1, p_2, \dots\}$  fournies par les descriptions de structures correspondantes. Si ces propriétés sont acceptées par l'utilisateur ou le concepteur, alors  $\{s_1, s_2, \dots\}$  est joint à  $S_i^+$ , d'où  $S_{i+1}^+ = S_i^+ \cup \{s_1, s_2, \dots\}$ ,  $P_{i+1}^+ = P_i^+ \cup \{p_1, p_2, \dots\}$  et par conséquent  $S_i^-$  est mis à jour et devient  $S_{i+1}^-$ .

La **transformation** Tr raffine  $P_i^-$  en  $P_{i+1}^-$  ou  $S_i^-$  en  $S_{i+1}^-$  et transforme  $Q_i$  en  $Q_{i+1}$  comme suit  $\{P_i^+, P_i^-, S_i^+, S_i^-\} \times Tr \rightarrow \{P_{i+1}^+, P_{i+1}^-, S_{i+1}^+, S_{i+1}^-\}$ . Elle est utilisée lorsque  $Q_i$  ne peut être transformé ni par analyse ni par synthèse. Le **raffinement** des descriptions de propriétés correspond à une décomposition et un découpage. Par exemple, pour une propriété  $p \in P_i^-$  et  $p \notin (A,P)$  on décompose p en plusieurs petites propriétés appartenant à (A,P). L'union de ces propriétés  $(p_1, p_2, \dots) \in (A,P)$  se trouve dans le voisinage de p. Le raffinement des descriptions de structures tend à l'amélioration d'une description de structures en cherchant des descriptions de structures alternatives. Pour une description de structures  $s \in S_i^-$  donnée,  $s \notin (A,S)$  il faut trouver un ensemble de descriptions de structures correspondant au voisinage de s et telle que  $(s_1, s_2, \dots) \in (A,S)$ .

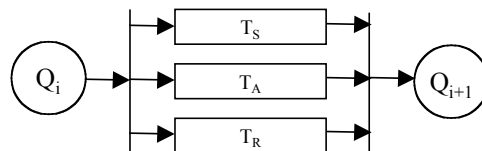


Figure IV-9 : les trois sous-processus fondamentaux de conception

Les transformations possibles entre les descriptions de structures et de propriétés sont résumées dans la figure IV-10.

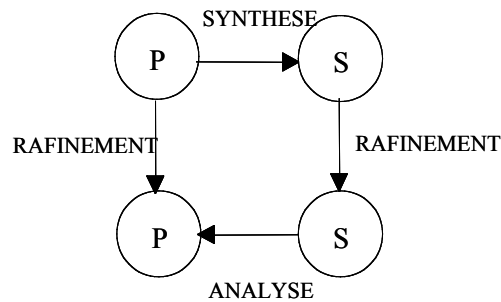


Figure IV-10 : Processus de transformation des descriptions de structures et de propriétés

### Remarque

Nous proposons une approche formelle identifiant trois processus fondamentaux : l'analyse, la synthèse et le raffinement. La conception revient à une utilisation successive et alternée de ces trois processus.

Notre objectif est de se baser sur ces principes généraux de conception pour réaliser une partie de la conception de systèmes de production (en particulier la grille décisionnelle). Elle ne prend pas en compte les aspects sociaux, humains, la coordination de conception, etc., facteurs que l'on retrouve dans toutes les entreprises. Nous utilisons donc cette approche seulement pour la partie de la conception pouvant être formalisée.

#### 4.3.3.2 Formalisation de la phase de conception préliminaire

A chaque grille de référence est associé un ensemble de descriptions complètes  $\langle P, S \rangle$  qui décrivent de manière explicite l'ensemble des propriétés d'un artefact et l'ensemble des descriptions de structures c'est-à-dire les attributs. Pour une grille de référence donnée,  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  représente l'ensemble des artefacts existants, c'est-à-dire des centres de décision du domaine associé à la grille de référence. La définition de l'ensemble d'artefacts  $A$  permet d'établir les couples  $(A, P)$  et  $(A, S)$  respectivement espace de description des propriétés et espace de description de structures. Les différentes phases du processus de conception défini par Chen (2000) peuvent alors être appliquées. Des propriétés (finalités ou rôles) ont été définies pour chaque centre de décision (artefact). Le tableau 1 donne quelques exemples de propriétés.

<p>P<sub>1</sub> : Définition de la stratégie commerciale</p> <p>P<sub>2</sub> : Négociation des commandes annuelles</p> <p>P<sub>3</sub> : Suivi des commandes annuelles</p> <p>P<sub>4</sub> : Prospection de nouveaux clients</p> <p>.....</p> <p>P<sub>58</sub> : Mise en œuvre des activités déclenchées</p> <p>P<sub>59</sub> : Gestion des actions curatives en fonction des demandes d'intervention</p> <p>P<sub>60</sub> : Réalisation des actions curatives.</p>
--

Tableau 1 : exemple des éléments de propriétés

Ainsi à chaque centre de décision  $a_j$ , nous associons au moins une propriété  $p_i$  dans l'ensemble des propriétés  $P$ . Réciproquement chaque artefact possède au moins une propriété. Par ailleurs, nous associons à chaque artefact des structures définies en l'occurrence un niveau décisionnel et une fonction. Nous représentons dans le tableau 2 quelques exemples de descriptions de structures. Les descriptions de structures et de propriétés définies dépendent du modèle de référence choisi.

L'artefact (centre de décision) ainsi défini est entièrement déterminé par ses deux types d'attributs (sa fonction et son niveau décisionnel). La connaissance de toutes les propriétés détermine entièrement les artefacts appartenant à la grille préliminaire.

<p>S<sub>1</sub> : fonction « gérer le commercial »</p> <p>S<sub>2</sub> : fonction « gérer le bureau d'étude »</p> <p>.....</p> <p>S<sub>5</sub> : fonction « planifier »</p> <p>.....</p> <p>S<sub>8</sub> : niveau « stratégique 1 (très long terme) »</p> <p>.....</p> <p>S<sub>12</sub> : niveau « opérationnel 2 (très court terme)»</p>
--

Tableau 2 : exemples des éléments de structures

Au cours de cette étape, la conception revient à la combinaison des trois type de transformations : Analyse, Synthèse et Raffinement. Le résultat final obtenu est la grille préliminaire de conception.

Soit une matrice  $M_p$  dans laquelle les lignes correspondent aux différents centres de décision de la grille de référence choisie et les colonnes aux propriétés qui leurs sont associées.

Nous définissons également une matrice  $M_A$  dans laquelle les colonnes correspondent aux centres de décision et les lignes aux attributs. La représentation de la connaissance du domaine consiste à élaborer les matrices  $M_P$  et  $M_A$  afin de pouvoir réaliser le processus de synthèse durant la conception ( $P \rightarrow S$ ) ; trouver les matrices inverses de  $M_P$  et  $M_A$  afin que le processus d'analyse puisse être réalisé durant la conception ( $S \rightarrow P$ ).

**(a) Elaboration des matrices de correspondance et de la transformation « Synthèse »**

Nous considérons que les ensembles A, P, et S forment des espaces vectoriels. Nous associons à ces espaces vectoriels deux opérations : la somme (+) correspondant dans notre cas à une union d'éléments d'un de nos espaces vectoriels, et le produit (\*) représentant la multiplication d'un nombre et d'un élément de ces espaces, ou au produit de deux éléments d'un espace. Toutes les propriétés  $p_j$  de l'espace de description des propriétés sont connues, et sont associées aux centres de décision  $a_i$ . Ainsi

chaque centre de décision  $a_i$  est caractérisé par des propriétés. Nous obtenons :  $a_i = \sum_{j=1}^n \alpha_j * p_j$  où

$$\alpha_j = 1 \text{ si } p_j \text{ valide et } \alpha_j = 0 \text{ si } p_j \text{ non valide}$$

Nous définissons une application linéaire f telle que :  $\forall a_i \in A, a_i = f(p_j) = \sum \alpha_j * p_j$

En se basant sur le modèle de référence décisionnel global, nous déduisons une matrice  $(M_P)_{m \times n}$  de correspondance entre les propriétés et centres de décision où  $m_{ij} = 1$  si le centre  $a_i$  possède la propriété j, et  $m_{ij} = 0$  dans le cas contraire. Chaque vecteur p de P est associé à un vecteur a de A tel que :

$$a = f(p) = (M_P)_{m \times n} * p$$

$${}^1(M_P)_{m \times n} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Par ailleurs, chaque centre de décision est également caractérisé par des attributs structurels (niveau décisionnel et fonction). Nous définissons donc une relation entre chaque centre de A et les éléments

de S telle que :  $s_k = \sum \beta_i * a_i$  où  $\beta_i = 1$  si  $a_i$  valide et  $\beta_i = 0$  si  $a_i$  non valide

En se basant sur le modèle de référence décisionnel global, nous en déduisons une matrice  $(M_A)_{r \times m}$  de correspondance entre les centres de décision et attributs où  $m_{ki} = 1$  si le centre  $a_i$  possède l'attribut k, et  $m_{ki} = 0$  dans le cas contraire.

$${}^1(M_A)_{rxm} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Soit donc un vecteur  $a$  de  $A$ , cet homomorphisme est utilisé pour obtenir le vecteur  $s$  de  $S$  tel que  $s = g(a) = (M_A)_{rxm} * a$ . Nous définissons donc la matrice composée :  $(M)_{rxn} = (M_A)_{rxm} * (M_P)_{mxn}$

L'application linéaire  $g \circ f$  correspond à la transformation obtenue par la matrice  $(M)_{rxn}$ . Il s'ensuit que :  $s = g \circ f(p) = g[f(p)] = (M)_{rxn} * p$

$$s_k = \sum \gamma_j * p_j \text{ où } \gamma_j = 1 \text{ si } p_j \text{ valide et } \gamma_j = 0 \text{ si } p_j \text{ non valide}$$

Cet homomorphisme est appelé 'Synthèse'.

**(b) Elaboration des matrices inverses de correspondance et de la transformation « Analyse »**

Nous définissons également une relation inverse entre les attributs et les centres de décision :

$$a'_i = \sum \beta'_k * s'_k \text{ où } \beta'_k = 1 \text{ si } s'_k \text{ valide et } \beta'_k = 0 \text{ si non.}$$

Nous en déduisons l'application linéaire  $g'$  telle qu'à tout vecteur  $s'$  on peut associer  $a'$  image de  $s'$  par cette application. Nous avons :  $a' = g'(s') = \sum_{k=1}^r \beta'_k * s'_k$ . Nous en déduisons également la matrice

inverse de  $M_A$  qui est  $M'_A$ . Cette matrice est en réalité la matrice pseudo-inverse  $M_A^+$  de  $M_A$  (matrice rectangulaire  $k \neq i$ ).

Soit donc  $s'$  de  $S$  et  $a'$  de  $A$ .  $g'$  permet de transformer  $s'$ , on obtient :  $a' = g'(s') = (M'_A) * s'$ . Nous définissons aussi la relation entre les centres de décision et les propriétés

<sup>1</sup> Ces matrices sont des extraits des matrices complètes présentées en annexe

$p'_j = \sum \alpha'_i * a'_i$  où  $\alpha'_i = 1$  si  $a'_i$  valide et  $\alpha'_i = 0$  sinon. Nous en déduisons l'application linéaire

inverse telle que pour tout vecteur  $a'$  de A nous ayons le vecteur  $p'$  de P :  $p' = f'(a') = \sum_{i=1}^m \alpha'_i * a'_i$

La matrice associée à cet homomorphisme est la matrice inverse  $M'_p$  de la matrice  $M_p$ . C'est en réalité la matrice pseudo-inverse  $M'_p$  de  $M_p$ . Nous définissons alors la matrice composée inverse :

$(M') = M'_p * M'_A$  car le nombre de colonnes de la matrice  $M'_p$  est égal au nombre de lignes de la matrice  $M'_A$ . L'application linéaire composée inverse associée à cette matrice inverse sert à obtenir pour tout vecteur  $s'$  le vecteur  $p'$  tel que :  $p' = f' \circ g'(s') = f' [g'(s')] = M' * s'$ . L'homomorphisme  $f' \circ g'$  correspond à la transformation appelée 'Analyse'.

### (c) Elaboration de la transformation « Raffinement »

La grille de référence représente des connaissances du domaine (voir chapitre 4). Les objectifs de conception qui correspondent aux propriétés non encore satisfaites, ont souvent besoin d'être affinés, précisés, améliorés afin de mieux correspondre aux propriétés prédéfinies de P.

<sup>1</sup> Le calcul de la matrice pseudo-inverse  $M^+$  d'une matrice quelconque  $M$  de m lignes et n colonnes est détaillé ci après.

Si la matrice  $M$  est de plein rang, alors  $M^+$  s'obtient par :

- $M^+ = (M^t * M)^{-1} * M^t$  si  $m > n$
- $M^+ = M^t * (M * M^t)^{-1}$  si  $m < n$
- $M^+ = M^{-1}$  si  $m = n$ .

Si la matrice  $M$  n'est pas de plein rang nous la partitionnons.

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \text{ avec } \text{rang}(M_{11}) = \text{rang}(M)$$

posons  $M_1 = \begin{bmatrix} M_{11} \\ M_{21} \end{bmatrix}$  et  $M_2 = [M_{12} \quad M_{22}]$  on a  $M^+ = M_2^t * (M_1^t * M * M_2^t)^{-1} * M_1^t$

Le processus de raffinement permet d'effectuer cette transformation et apparaît donc comme un endomorphisme  $h$  de  $P$  dans  $P$  ( $P$  étant composé de  $P^+$  et de  $P^-$ ). Pour tout vecteur  $p_0$  de  $P^-$ , cet endomorphisme est utilisé pour obtenir un vecteur  $p_0'$  tel que :

$$p_0' = h(p_0) = \sum_{j=1}^n \delta_j * p_j \text{ où } \delta_j = 1 \text{ si } p_j \text{ valide et } \delta_j = 0 \text{ si } p_j \text{ non valide.}$$

Le processus de raffinement apparaît donc comme la transformation d'une propriété non encore satisfaite de  $P$  en une combinaison linéaire de plusieurs propriétés existantes de  $P$ . Le même procédé est appliqué pour réaliser un processus de raffinement de structure. On transforme une description de structure  $s$  n'existant pas dans le tableau 2 en plusieurs descriptions de structures  $s_1, s_2, \dots, s_n$  de ce dernier.

La conception est une succession de transformations d'un état initial ne comportant que les objectifs de conception et l'existant à un état final où ces objectifs ont été exprimés, traduits en connaissance du domaine considéré. En définitive le processus de conception de la macro-étape « conception préliminaire » est évolutif. Il s'établit en fonction des résultats de la phase d'analyse et des objectifs de conception. Il reste cependant la combinaison des trois types de transformations présentés et par itération conduit à la solution préliminaire.

#### 4.3.4 Conception détaillée

La conception détaillée comprend deux étapes (figure IV-11):

- ✓ La première étape est celle de la correction des dysfonctionnements potentiels (la grille préliminaire est validée dans le cas où on ne part pas de la grille d'analyse) et de la prise en compte des objectifs de conception. La grille préliminaire sert de support à la conception de la grille finale et elle remplit un rôle d'aide à la conception. Le résultat de cette étape est une grille adaptée. C'est donc une synthèse de tous les changements apportés précédemment. Elle est le fruit du raffinement de la grille préliminaire ou de l'adaptation de la grille d'analyse, les liens décisionnels et informationnels étant également corrigés.
- ✓ La deuxième étape est celle de la validation de la nouvelle grille adaptée. La nouvelle grille de conception est la grille adaptée si la comparaison avec les objectifs de conception et les dysfonctionnements montre qu'elle ne nécessite plus d'adaptation ; sinon on recommence la conception détaillée pour obtenir une nouvelle version de la grille. La validation revient donc à vérifier la cohérence dans la nouvelle grille. Cette étape se justifie du fait de la liberté laissée au concepteur et au groupe de synthèse lors de l'étape précédente.

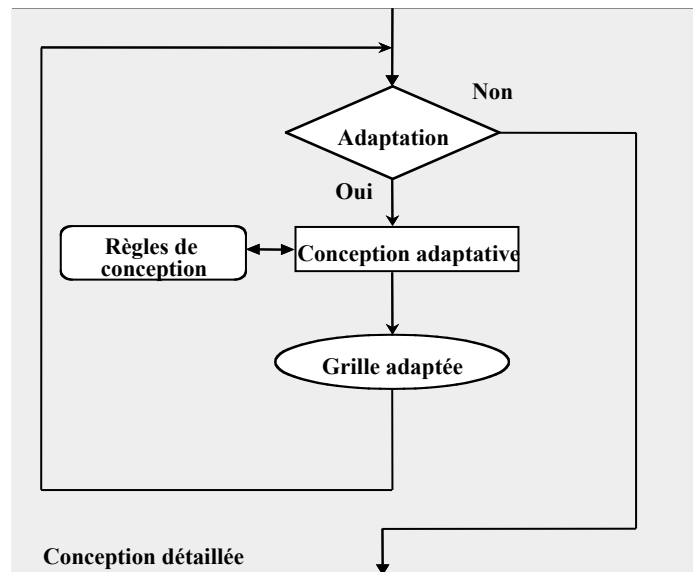


Figure IV-11 : macro-étape « conception détaillée »

Lorsque tous les dysfonctionnements sont en fait corrigés et que la conception satisfait le groupe de synthèse (objectifs de conception), cette grille devient la grille finale de conception. Le résultat de la conception détaillée est le nouveau modèle décisionnel global.

#### 4.3.5 Conception de réseaux GRAI

La macro-étape « conception des réseaux » peut être décomposée en trois étapes (figure IV-12)

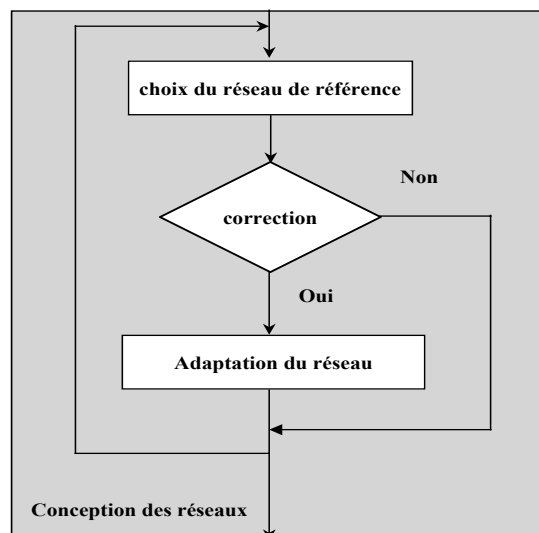


Figure IV-12 : macro-étape « conception des réseaux »



Une étape « choix du réseau de référence » propose au concepteur des réseaux GRAI de référence pour les centres de décision de la grille finale. A chaque centre de décision, peut correspondre plusieurs réseaux. Tous les réseaux d'un même centre de décision constituent son réseau de référence. Il s'agit en réalité pour un centre de décision de la grille finale de conception, d'identifier le réseau de référence associé, le sélectionner et l'extraire de la base des modèles de référence. Nous définissons en d'autres termes, une application  $h$  de l'ensemble  $O$  des centres de décision dans l'ensemble  $R$  des réseaux de référence associés. A chaque centre de décision (objet) est associé un réseau GRAI de référence :  $h(O_{jk})=R_{jk}$ .

Une deuxième étape est utilisée pour comparer le réseau de référence extrait avec celui issu de la phase d'analyse. Le degré de modification sert à savoir s'il faut garder le réseau de la phase d'analyse, ou adapter celui de référence. Le réseau d'analyse est validé si le coefficient de modification est inférieur à 0.25, en plus de l'accord du groupe de synthèse et des spécialistes de la méthodologie GRAI. Sinon, l'étape suivante est réalisée.

Une dernière étape « adaptation de réseau » sert à adapter le réseau de référence choisi. Les modifications sont effectuées par le concepteur et le groupe de synthèse adapte ce réseau à leur conception. Cette étape est une particularisation du réseau GRAI de référence choisi en fonction de l'étude courante.

Nous passons ensuite à un autre centre de décision, et effectuons la même opération, jusqu'à ce que tous les nouveaux réseaux de tous les centres de décision concernés dans notre conception soient conçus.

Elle est aussi utilisée par le groupe de synthèse et le concepteur pour adapter les réseaux de la phase d'analyse correspondant au centre de décision choisi, en se basant sur le réseau de référence associé. Cette étape se termine par la validation du (des) réseau (x) ainsi adapté (s) et le passage au choix d'un autre centre de décision c'est-à-dire d'un autre réseau de référence.

Le résultat de cette macro-étape constitue le nouveau modèle décisionnel local. Nous obtenons ainsi les modèles décisionnels global et local.

## 4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini un processus de conception s'intégrant dans la démarche de la méthode GIM. Il apporte une aide au concepteur, tout en laissant à ce dernier et au groupe de synthèse la liberté nécessaire pour une conception originale. Ce processus de conception est composé des macro-étapes auxquelles nous allons associer les différents types de raisonnements appropriés (voir chapitre 5). Nous avons présenté de façon détaillée un processus pour la phase de conception du système décisionnel de la méthodologie GRAI. Ce processus est en partie formalisé. Il favorise également l'application des principes de la méthodologie GRAI correspondant à une forte implication des acteurs de l'entreprise au cours de la reconception. Il servira de base au développement d'un module informatique d'aide à la conception du système décisionnel.

La représentation de la connaissance est un élément clé de la conception. La façon dont la connaissance est modélisée peut influencer significativement le processus qui est sensé manipuler cette connaissance. En nous appuyant sur une approche issue des concepts théoriques existants sur la conception, nous avons formalisé une partie de notre processus correspondant à la conception routinière. Nous avons adopté une approche matricielle pour représenter la connaissance afin de rendre celle-ci exploitable par le moyen informatique. Autrement dit, cette connaissance est modélisée dans un premier temps sous forme de modèle de référence (d'autres modes de représentation de la connaissance ont été présentés dans le chapitre 3) utilisant les formalismes GRAI et ensuite par une représentation matricielle.

Les trois types de processus de transformations (analyse, synthèse et raffinement) permettent de transformer l'état initial de spécifications en état final qui définit à la fois les fonctions et la structure du système décisionnel.

La partie non formalisée s'appuiera néanmoins sur des règles de conception mais surtout sur l'expertise humaine.

La représentation de la connaissance sous forme de règles, ou de modèle de référence ainsi que le processus de conception proposé permettent de développer un outil d'aide à l'expertise approprié pour répondre à notre problématique d'aide à la conception de systèmes de production. Une méthode de résolution de problème est alors associée à cet outil d'aide.





*« La raison ne fonde plus mais permet de contrôler partiellement et pas à pas. Elle peut accompagner et aider si nous le souhaitons une morale du dialogue et de la rencontre entre moralités différentes, civilisations différentes. Cheminement progressif où l'on ne part que du particulier pour tendre sans garantie vers un universel qui n'est pas donné d'avance. » [ATLAN, 1986]*

---

---

## CHAPITRE 5

# LA METHODE DE RESOLUTION DE PROBLEMES PROPOSEE

---

---



## Table des matières

5.1. Introduction.....	129
5.2. Architecture de GRAIXpert .....	130
5.2.1. Description générale.....	130
5.2.2. Le module de capitalisation des connaissances.....	131
5.2.3. Le module de base de connaissances.....	133
5.2.4. Le module du Gestionnaire .....	133
5.3. Raisonnements utilisés dans la phase de diagnostic .....	135
5.4. Processus général de résolution de problèmes.....	136
5.5. Mécanismes de raisonnement.....	139
5.5.1. Mécanisme de généralisation et de classification .....	139
5.5.2. Le mécanisme CBR.....	142
5.5.3. Le mécanisme de décomposition.....	143
5.5.4. Le mécanisme de transformation.....	146
5.6. Nouvelle méthode de résolution de problèmes proposée .....	148
5.7. Conclusion .....	153





## 5.1 Introduction

Chaque problème posé implique l'utilisation de raisonnements pour le résoudre. En prenant, par exemple, la résolution du problème de diagnostic, il est évident qu'un raisonnement à base de règles (règles établies au chapitre 3) est utilisé pour l'aide à la résolution de ce problème.

Les systèmes d'aide à la conception ont prouvé qu'ils sont devenus indispensables dans tous les secteurs industriels (conception,...); mais également dans l'élaboration de processus de conception optimisant les performances des systèmes de production. Cependant, la complexité du processus de conception inclut le jugement, l'expérience, etc. ; il devient alors difficile aux systèmes traditionnels de tenir compte de tous ces facteurs. Aussi, la nécessité du développement de systèmes d'aide à la conception intelligents, plus performants que les précédents, est apparue évidente. La recherche sur les systèmes intelligents d'aide à la conception est en plein essor depuis une vingtaine d'années et prend actuellement de plus en plus d'importance. La résolution de problèmes d'aide à la conception est un des axes de cette recherche. Il ressort des différents travaux effectués dans ce domaine, que pour les systèmes de production, cette résolution est peu efficace si on n'utilise qu'un seul type de raisonnement. En effet, la conception dépend du type de connaissance dont dispose le concepteur. Nous disposons d'une connaissance experte humaine (implicite ou non) pour tous les problèmes difficiles à formaliser, mais également d'une connaissance sous forme de modèle de référence ou de règles pour les autres problèmes. Dès lors, le processus de conception établi au quatrième chapitre, ainsi que la modélisation de la connaissance effectuée au chapitre trois, permettent de définir une architecture générale pour un outil d'aide et d'élaborer une Méthode de Résolution de Problème hybride afin de faciliter le développement du support informatique associé à cette architecture.

Dans ce chapitre, nous présentons tout d'abord l'architecture générale et les liens entre ses différents modules. Ensuite, nous exposons le raisonnement utilisé dans la phase de diagnostic. Puis nous définissons pour la conception, un processus général de résolution de problèmes comme prenant en référence les différents travaux de ce domaine. Nous présentons également les différents raisonnements utilisés au cours des sous-phases de conception. Nous montrons enfin comment ils sont combinés afin d'obtenir le mécanisme de raisonnement global correspondant à la Méthode de Résolution de Problèmes proposée et leur interaction avec le processus de conception proposé dans le chapitre 4. Ce chapitre nous permet également d'étudier les liens entre le système d'aide à l'expertise pour les phases de diagnostic et de conception de systèmes de production, les différents modules de ce système et l'utilisateur. Il conduit également à rendre le processus de conception proposé applicable et compatible avec ce système d'aide.

## 5.2 Architecture de GRAIXpert

La structure de la connaissance en conception de système de production nous permet d'élaborer une architecture de système d'aide à l'expertise. L'architecture de GRAIXpert proposée, est un environnement informatique offrant plusieurs avantages : l'aide intelligente au cours des phases de diagnostic et de conception à travers notamment l'utilisation du sous-module de système expert hybride, mais aussi la gestion de l'après conception (capitalisation des connaissances). Les systèmes hybrides intelligents représentent une combinaison de différentes techniques telles que la logique floue, les réseaux de neurones, les algorithmes génétiques, etc. [M.E.Yahia et al, 2000]. Ce système d'aide pourra s'intégrer dans les outils logiciels support à la modélisation, en utilisant les sources d'informations déjà existantes et en intégrant ces techniques avec les systèmes conventionnels et les méthodes statistiques, d'analyse numérique, par raisonnement à partir de cas, etc.

### 5.2.1 Description générale

L'architecture prend en considération, la connaissance experte pour fournir une aide efficace et assister l'utilisateur pendant la conception. Elle contient le savoir-faire des experts, sous forme de modèles de référence ou de règles, préétablis et résultant du processus d'acquisition des connaissances des experts. Le système devra être enfin convivial, facile d'emploi, agréable et offrir des facilités d'explication, d'aide en ligne et de modification des données, afin d'inciter les concepteurs à l'utiliser régulièrement. Par ailleurs, ce système d'aide devra être extensible, afin de pouvoir ajouter de l'expertise, des cas dans la bibliothèque de cas, ou d'améliorer les modèles de référence élaborés. Le Module construit pour répondre à ces exigences est composé de quatre grandes parties (figure V-1) :

- ☞ l'éditeur graphique de modèles (fonctionnel, physique, décisionnel, processus et informationnel),
- ☞ le Gestionnaire commandant et gérant les interactions du système avec les utilisateurs,
- ☞ la capitalisation des connaissances, comprenant aussi bien des connaissances sous formes de modèles de référence et associées à un domaine, que les différentes études existantes : c'est une bibliothèque (base de données),
- ☞ le système à base de connaissance classique, avec une base de faits et une base de règles ainsi qu'un moteur d'inférence.

Nous détaillons dans les parties suivantes de ce chapitre chacun des trois sous-modules de l'architecture et leurs interactions avec l'éditeur graphique de modèles, aussi bien au niveau de leur structure que de leur mode de fonctionnement.

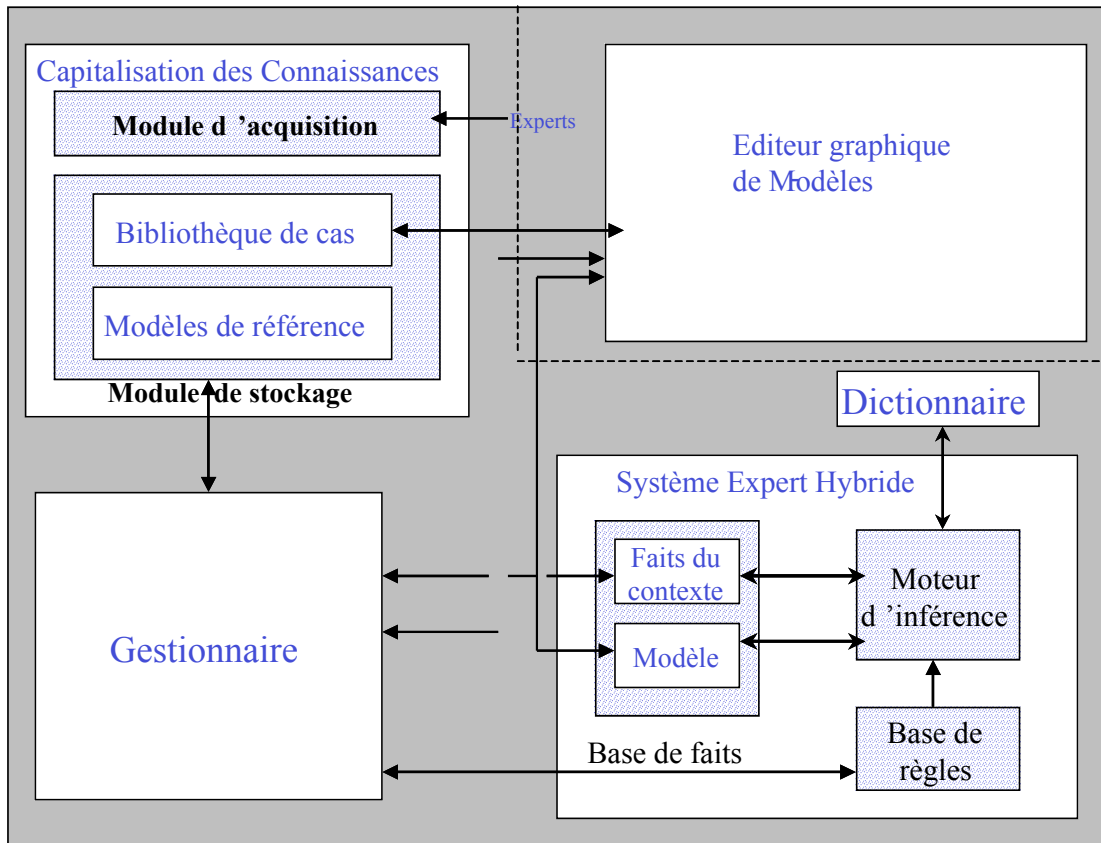


Figure V-1: Architecture proposée pour GRAIxpert

### 5.2.2 Le module de capitalisation des connaissances

Le processus de capitalisation des connaissances requiert des aptitudes à manager différents savoir-faire et des points de vue hétérogènes. Il doit intégrer et stocker cette connaissance sous différentes formes facilement accessibles, utilisables et maintenables [A.C.Boury-Brisset, 2000]. La capitalisation des connaissances en conception prend tout son sens dans la conception préliminaire de systèmes complexes innovants où les équipes de projet sont constituées dynamiquement en fonction des besoins et puisent dans le réservoir de savoir-faire des autres départements de l'entreprise qui détiennent des connaissances de métiers [Soenen, 2000].

Le module de capitalisation des connaissances comporte deux sous-modules :

- l'acquisition,
- le stockage.

### 5.2.2.1 Le sous-module d'acquisition de connaissances

Le sous-module d'acquisition (figure V-2) permet essentiellement d'améliorer les connaissances acquises. Ainsi, on peut grâce à ce sous-module, ajouter, modifier, supprimer la connaissance dans le sous-module des connaissances.

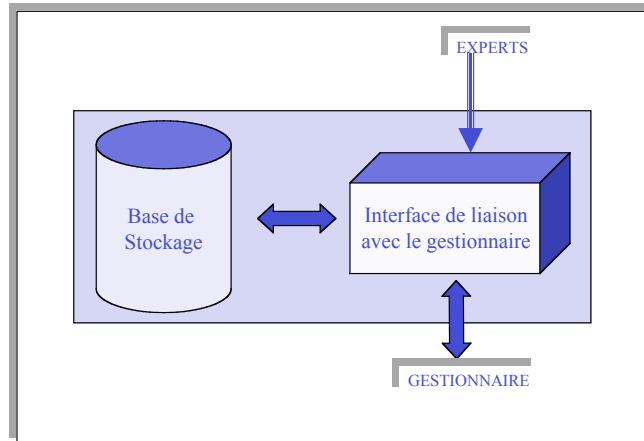


Figure V-2 : Module d'acquisition de connaissances

C'est une porte laissée à la disposition des experts de la méthodologie mais aussi ceux du domaine pour enrichir les connaissances du système d'aide. Il contient une base de données pour stocker toutes les nouvelles connaissances apportées au système et un bloc d'interaction avec le gestionnaire pour toute nouvelle acquisition.

### 5.2.2.2 Le sous-module de stockage

Le sous-module des stockage comprend deux grandes bases de données. La première est la bibliothèque de cas qui existe déjà dans GIMCase et stocke les informations concernant les différentes études réalisées (contexte et grille). Nous étendons ces informations aux autres modèles de la méthodologie GRAI (fonctionnel, processus et informationnel).

En effet, il est important de stocker l'ensemble des études réalisées grâce à la méthodologie GRAI en vue de leur réutilisation ultérieure ou d'un ajustement des modèles de référence du domaine concerné.

La deuxième est la base de données contenant les différents modèles de référence. Ceux-ci sont établis par rapport à chaque domaine et utilisés durant la phase de conception d'une nouvelle étude.

### 5.2.3 Le module de base de connaissances

La base de connaissances du module développé comporte une base de règles contenant différents groupes de règles (voir chapitre 3). Elle est aussi composée d'une base de faits dans laquelle nous trouvons le modèle du système obtenu par l'intermédiaire de l'éditeur graphique de chacun des modèles de l'étude [DOUMEINGTS, 2002], mais aussi une base de faits du contexte qui contient les données du contexte et les rend accessibles au moteur d'inférences.

Cette base de faits correspond aux faits utilisés dans la base de règles. Le moteur d'inférence accède à la base de données du contexte et au modèle du système de production, mais aussi à la base de faits. Un dictionnaire traduit les expressions trouvées dans le modèle en expressions standard fournies par les experts de la méthodologie GRAI. Ainsi les règles écrites dans la base de règles ne changeront pas, car le dictionnaire trouvera les équivalences nécessaires entre les expressions de l'étude et les expressions standard.

### 5.2.4 Le module du Gestionnaire

Plusieurs études ont été réalisées, démontrant le rôle de la connaissance dans l'amélioration des performances. Cependant il existe très peu d'études sur la connaissance dans le domaine de la gestion de connaissances.

La connaissance circulant dans une organisation peut être explicite ou tacite [Noh, 2000] (voir chapitre 3). La connaissance explicite peut être exprimée en mots, nombres, formules scientifiques, procédures codifiées et elle est facilement transmise (modèles de référence, règles). La connaissance tacite (étude capitalisée) quant à elle, est intangible, parce que représentant l'intuition, les finesses subjectives, les croyances et l'expertise [Wagner, 1988].

Les deux types de connaissances sont nécessaires pour notre outil d'aide. La difficulté n'est pas sur la connaissance explicite déjà formalisée, mais plutôt sur la connaissance tacite, que nous proposons de gérer en deux étapes :

- ☞ La première revient à la conversion de cette dernière en connaissance explicite : une des premières prémisses de gestion de connaissances est qu'une connaissance individuelle peut être acquise en connaissances organisationnelles et réutilisées plus tard pour les problèmes de prise de décision. Pour que cette prémisse soit réalisée, il faut que la connaissance tacite soit transformée en connaissance explicite.

En effet, le processus d'apprentissage est ainsi accéléré et les performances de gestion de connaissances améliorées. Nous proposons d'utiliser la transformation de connaissance et les techniques avancées pour convertir la connaissance tacite sous forme explicite. La méthode la plus populaire est l'approche à base de règles, que nous combinons avec l'interview, utilisée à différents moments du processus de gestion de connaissances.

- ☞ La réutilisation dans les problèmes de prise de décisions : la connaissance tacite a été stockée dans une base de connaissance (base de données) à travers les cas d'étude pour être réutilisée.

Le gestionnaire présente à l'utilisateur avec des questions et des choix appropriés, les informations requises sur les caractéristiques de l'entreprise étudiée. Il gère également toutes les règles. Nous pouvons leur faire appel grâce à ce sous-module. Le gestionnaire permet les interactions entre les différentes règles ou groupes de règles. Il est utilisé pour la modification, la suppression, ou la sélection des règles applicables dans un contexte donné.

Il sert également à effectuer le chargement et la sauvegarde des fichiers de règles, ainsi que la création de nouveaux fichiers de règles. Par ailleurs, il s'occupe aussi de la gestion des données du contexte des études et de leurs interactions, c'est-à-dire le chargement et la sauvegarde, la modification, l'affichage des informations etc. Il commande enfin le processus de conception, les différentes actions des trois autres sous-modules et leurs interactions. Le gestionnaire intervient aussi bien pendant la phase de diagnostic que pendant celle de conception. Il guide l'utilisateur dans ses choix en fonction des tâches à réaliser.

En définitive, au cours d'une étude GRAI, les différents modules de l'architecture générale fonctionnent en utilisant des raisonnements appropriés aussi bien pour le diagnostic que pour la conception des systèmes de production. Il convient donc d'étudier dans le détail ces raisonnements.

### 5.3 Raisonnements utilisés dans la phase de diagnostic

La phase de modélisation de la méthodologie GRAI fournit cinq modèles du système existant. Ceux-ci correspondent à l'application des différents formalismes. La phase suivante est celle du diagnostic de ces modèles pour y détecter les dysfonctionnements. Elle fait appel essentiellement au Raisonnement à Base de Règles. En effet, ces règles de diagnostic ont été établies au chapitre 3 pour fournir une aide au diagnostic. Elles représentent la connaissance du domaine. Pour un modèle donné, le mécanisme de raisonnement utilisé est décrit dans la figure V-3.

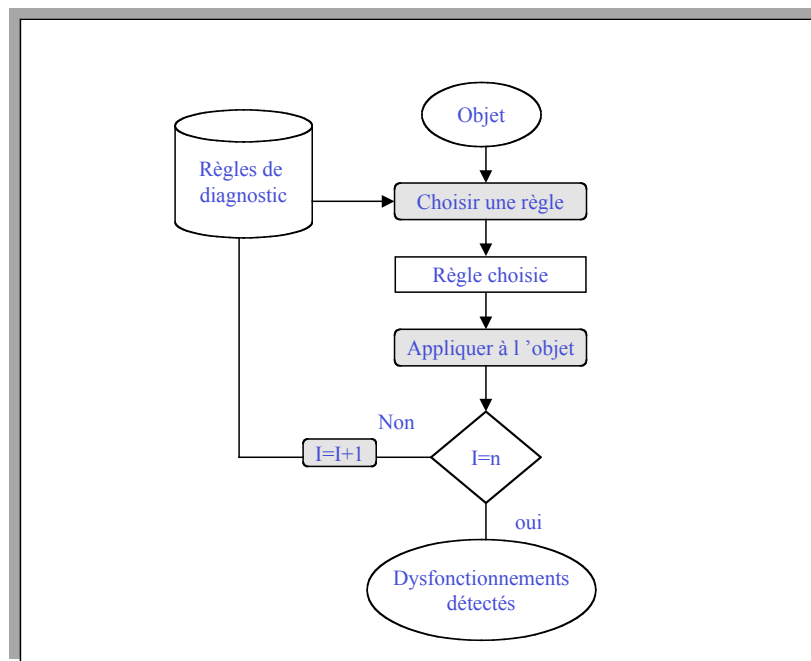


Figure V-3 : Mécanisme du Raisonnement à Base de Règles pour le diagnostic

Pour chaque modèle, un ensemble de  $n$  règles est choisi correspondant à un sous-ensemble de règles de diagnostic spécifiques au modèle. Chaque règle est ensuite appliquée au modèle afin d'en détecter les dysfonctionnements. Cette application conduit soit à la confirmation d'une cohérence du modèle et d'une similitude par rapport à un modèle idéal issu des connaissances du domaine, soit à un dysfonctionnement. Cette procédure est réalisée jusqu'à ce que toutes les règles spécifiques soient appliquées. Le résultat du processus ainsi décrit est un ensemble d'incohérences et d'imperfections par rapport à des comportements attendus. La phase de conception permettra ensuite de corriger ces dysfonctionnements.

## 5.4 Processus général de résolution de problèmes

Le processus général ainsi que la méthode de résolution de problèmes sont élaborés pour la phase de conception de la méthodologie GRAI. Une Méthode de Résolution de Problèmes peut être caractérisée comme suit :

- ☞ elle spécifie quelles actions d'inférence doivent être utilisées pour résoudre une tâche donnée,
- ☞ elle détermine la séquence dans laquelle les actions doivent être activées,
- ☞ de plus, les 'rôles' de connaissance déterminent quel 'rôle' joue la connaissance du domaine dans chaque action d'inférence ; ces 'rôles' de connaissance définissent une terminologie générique indépendante du domaine.

Nous décrivons rapidement le processus général à partir duquel sera élaboré notre méthode de résolution de problèmes.

Il existe différents types de méthodes de résolution de problèmes faisant notamment appel à des raisonnements variés tels que le CBR ou la méthode de décomposition. Les domaines d'application de ces méthodes sont variés. Dans le domaine scolaire et universitaire par exemple, une des méthodes utilisées consiste à enseigner aux étudiants à reconnaître des problèmes types et à mémoriser les « étapes de solution » correspondantes. Cette méthode ne permet pas à l'étudiant de gérer un problème vraiment nouveau. En effet, il n'existe pas que des problèmes dont les caractéristiques sont exactement similaires à celles déjà rencontrées dans la résolution de problèmes antérieurs. Il a donc été nécessaire d'établir une méthode de résolution de problèmes prenant en compte le fait que certains problèmes peuvent être nouveaux.

Dans le domaine de la conception, cette distinction a conduit aux conceptions routinière, innovatrice et originale [Gero, 1990], [Brown et Chandrasekaran,1985]. Le caractère dynamique et innovateur de certains problèmes de conception ne doit donc pas être négligé dans la résolution de problèmes de ces derniers.

Nous proposons un processus de résolution de problèmes intégrant l'aspect statique, répétitif des problèmes et de leurs résolutions ainsi que leur aspect dynamique et original. Ce processus comporte quatre étapes essentielles (figure V-4) :

- ☞ La première est la détermination des données. Elle revient à l'acquisition du contexte de l'entreprise étudiée et des résultats de la phase d'analyse de la démarche de la méthodologie GRAI.



- ☞ La deuxième étape consiste à définir l'objectif visé par la conception. C'est la définition d'une cible à atteindre, c'est-à-dire la prise en compte des objectifs de conception afin de définir une solution idéale.
- ☞ La troisième correspond à l'élaboration d'une piste logique. C'est l'utilisation de raisonnements formels, pour mettre en place un cheminement qui sera suivi dans la conception. Elle implique le choix des mécanismes de raisonnement appropriés.
- ☞ La dernière revient à l'élaboration de la solution. Elle est réalisée à partir des données en suivant la piste logique conduisant à la cible. Elle correspond à l'application effective des processus de conception associés aux mécanismes choisis.

Dans la résolution d'un problème, les trois premières étapes servent à le définir, et à trouver les outils ainsi que le cheminement les plus appropriés, pour l'élaboration de la solution de conception. Nous améliorons ce processus dans la dernière étape, non seulement en appliquant de manière mécanique les transformations mathématiques préconisées par les étapes précédentes, mais également en utilisant la connaissance des experts du domaine de conception pour adapter la solution au domaine spécifique.

Huit tâches sont définies dans une résolution de problèmes :

- ☞ l'analyse du problème conduit à l'émission des hypothèses, l'identification des problèmes et le développement de ces hypothèses et problèmes,
- ☞ la récapitulation des connaissances favorise la résolution du problème avec les connaissances déjà acquises ; elle identifie de manière formelle les éléments qui apporteront des réponses appropriées au problème à résoudre,
- ☞ la recherche des informations manquantes facilitent la résolution du problème et affine la solution obtenue en ajoutant aux connaissances déjà acquises des informations provenant du domaine spécifique dans lequel doit être résolu le problème,
- ☞ l'identification des objectifs, des ressources et des tâches à accomplir consiste, d'une part, à classer les besoins en apprentissage par priorité, d'autre part, à établir les objectifs et répartir les tâches et les ressources,
- ☞ l'investissement fourni pour aller jusqu'au bout du plan établi,
- ☞ le partage des connaissances avec tous ceux qui sont impliqués dans la résolution du problème,
- ☞ la mise en pratique correspond à la résolution effective du problème,

- ☞ la rétrospective sert à évaluer l'acquisition des nouvelles connaissances, la validité de la solution obtenue, et le processus utilisé dans la démarche de résolution.

Ces différentes tâches sont contenues dans le processus proposé. En effet, nous décomposons chaque étape en tâches. Les deux premières tâches correspondent à la première étape du processus de résolution ; les deux suivantes représentent la deuxième étape ; les cinquième et sixième reviennent à l'étape d'élaboration de piste logique ; la dernière étape est composée des deux dernières tâches citées.

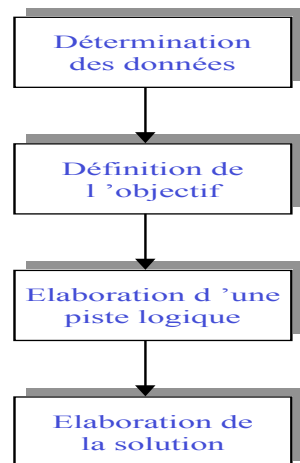


Figure V-4 : Processus général de résolution de problèmes

Nous avons élaboré un processus de résolution de problèmes, qui peut être mémorisé comme connaissance acquise. Il permet d'incorporer des connaissances nouvelles dans le contexte du problème, mais aussi dans la base des connaissances acquises. En effet, tout nouveau problème nécessitant des connaissances nouvelles propres au domaine est résolu, puis intégré en même temps que sa solution à la base de connaissance du système d'aide à l'expertise pour les phases de diagnostic et de conception de systèmes de production. Cette approche entraîne l'amélioration progressive des performances globales de résolution.

## 5.5 Mécanismes de raisonnement

Les Méthodes de Résolution de Problèmes peuvent être exploitées dans le processus d'ingénierie de connaissances de différentes manières :

- ☞ Elles contiennent les actions d'inférence qui ont besoin de connaissances spécifiques pour accomplir leur tâche. Elles peuvent être utilisées comme lignes directrices pour acquérir la connaissance statique du domaine.
- ☞ Elles permettent de décrire le principal raisonnement du processus d'un système à base de connaissance qui supporte la validation de ce système, parce que l'expert est capable de comprendre le processus de résolution des problèmes. De plus, cette description abstraite peut être utilisée durant le processus de résolution des problèmes pour des facilités d'explication.
- ☞ Elles peuvent être réutilisées pour développer un autre système à base de connaissances ; une bibliothèque de méthodes de résolution de problèmes peut être exploitée pour la construction de système à base de connaissance à partir de composants réutilisables.

La méthode de Résolution de Problèmes proposée, du fait de la nature hybride de notre système d'aide à l'expertise pour les phases de diagnostic et de conception, associe ces trois possibilités.

Les travaux de recherche en résolution de problèmes nous conduisent à établir une méthode de résolution de problèmes comportant plusieurs mécanismes. Ces mécanismes sont associés à différents types de raisonnements. Ils sont appelés par le système expert en fonction de l'étape de conception considérée, de la connaissance acquise sur le domaine de conception, du niveau de détail de conception, ainsi que de la nature de la conception (innovatrice, routinière, etc.).

### 5.5.1 Mécanisme de généralisation et de classification

L'élaboration (et la mise en place) de ce mécanisme est due essentiellement à la nécessité d'avoir un nombre de cas d'étude élevé dans la base de cas du module GIMCase (voir chapitre 1), dans lequel sont stockées les études précédentes.

L'utilisation d'un modèle générique correspondant à un domaine précis des systèmes de production s'impose alors comme une solution évidente. Nous avons dès lors deux problèmes à résoudre : celui de la typologie des systèmes de production simultanément avec celui de la réalisation de modèles génériques pertinents. L'utilisation des raisonnements de classification et de généralisation nous permet, d'une part, de régler ces problèmes, mais d'autre part, de réaliser la conception du nouveau système de production.

Le raisonnement de classification sert à partir de quelques critères pertinents  $c_p$  à élaborer des classes  $C_i$  de systèmes de production. Le premier critère transforme l'ensemble des systèmes de production en sous-ensembles intermédiaires ; le deuxième divise ces sous-ensembles en éléments plus réduits jusqu'à l'obtention des classes élaborées.

L'avantage de notre proposition est qu'elle reste évolutive en fonction des changements apportés aux critères dits pertinents. Une augmentation des critères affine la typologie et augmente le nombre de classes.

Nous définissons l'ensemble  $S_p$  des systèmes de production qui est caractérisé par le vecteur  $s_p$ . Nous définissons également pour chaque critère  $c_p$  un vecteur  $\alpha$  dont le nombre de colonnes  $m$  correspond aux différents attributs (valeurs) associés au critère.

$$\alpha = (\alpha_1 \quad \dots \quad \alpha_j \quad \dots \quad \alpha_m)^r$$

Par exemple, l'application du critère 'répétitivité de la production' entraîne l'obtention de trois attributs de production : en petite et moyenne séries, en grande séries, et unitaire.

$X_j$  étant un ensemble intermédiaire obtenu et  $x_j$  le vecteur associé nous avons la combinaison linéaire suivante :

$$s_p = \sum_{j=1}^m x_j * \alpha_j$$

L'union des ensembles  $X_j$  intermédiaires donne l'ensemble global  $S_p$  des systèmes de production.

L'application d'un autre critère pertinent subdivise chaque sous-ensemble obtenu en sous-ensembles plus réduits jusqu'à l'obtention des classes de systèmes de production.

La combinaison linéaire suivante est déduite pour les trois critères dont les vecteurs associés sont  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  :

$$s_p = \sum_{j=1}^m \alpha_j * \left( \sum_{k=1}^r \beta_k * \left( \sum_{i=1}^n \gamma_i * c_i \right) \right)$$

où  $m$ ,  $r$  et  $n$  correspondent au nombre de colonnes (attributs) de  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  et  $c_i$  une classe de systèmes de production.

Le nombre de classes des systèmes de production varie donc en fonction des critères choisis, mais aussi en fonction du nombre de colonnes de ces derniers. Il est donc prévu, en fonction des modifications de typologies de systèmes de production ou de changements de critères, de faire évoluer la classification.

La classification de systèmes de production, utilisée dans cette thèse, a été établie avec seulement deux critères pour des raisons de simplification (chapitre 3).

Chaque classe ainsi élaborée contient ensuite, non pas des anciennes études comme dans GIMCase, mais plutôt des modèles élaborés à partir de l'expérience acquise par les experts de la méthode. Cette expérience ainsi que les études réalisées dans le domaine de la classe contribuent à l'établissement de chaque modèle générique. Une base de données est ainsi construite servant à stocker tous les modèles génériques (ou de référence) établis (chapitre 3).

Cette étape du raisonnement de généralisation est déjà réalisée (typologie des systèmes de production présentée au chapitre 3) et n'évoluera qu'avec le changement des critères pertinents du raisonnement de classification. La deuxième partie du raisonnement concerne le processus de résolution de problèmes. En effet, elle consiste à rechercher dans la famille des modèles génériques celui répondant aux spécifications du problème. Ce modèle est ensuite particularisé pour obtenir la nouvelle solution de conception. Le raisonnement de généralisation est imbriqué de manière permanente avec d'autres types de raisonnements.

L'expérience dans la recherche et le développement de systèmes d'aide à la conception intelligents a montré que l'approche strictement générique n'est pas réaliste. Elle nécessite l'utilisation d'autres mécanismes pour le raisonnement de particularisation par rapport à un problème donné, ainsi que les spécifications en fonction du domaine de conception. En effet, les modèles de référence sont établis par rapport aux modèles fonctionnel, processus, ou décisionnel de la méthodologie GRAI. Il s'ensuit que, pour une étude donnée (comportant les cinq modèles de la méthodologie), nous appliquons le raisonnement de décomposition afin de concevoir chaque modèle séparément.

La phase de recherche du modèle applicable correspond quant à elle à l'utilisation du raisonnement CBR. Le raisonnement de transformation est aussi utilisé pour les modèles de la méthodologie pour lesquels nous n'avons pas de modèle de référence (modèles physique et informationnel).

L'étude des autres types de raisonnement associés nous permettra de voir dans le détail les étapes de recherche et de particularisation de ce mécanisme.

### 5.5.2 Le mécanisme CBR

Chaque modèle de référence est considéré comme une structure, un vaste objet. Le mécanisme de CBR proposé (figure V-5), utilise un algorithme « Sélectionner- Extraire- Transformer », qui conduit à l'obtention du modèle de référence correspondant à l'étude courante. En effet, nous avons différents objets dans la base de cas. Nous devons premièrement choisir la classe d'objet  $C_i$  sur laquelle nous appliquons le mécanisme. Chaque classe comporte différents objets :

$$C_i = \{O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{in}\}.$$

Le sélecteur et l'extracteur servent au choix de la classe de référence et du modèle de référence correspondant à l'étude en cours. Nous choisissons un objet  $O_{ij}$  de la classe  $C_i$  en comparant les paramètres de l'objet  $O_m$  à concevoir, résultat de la phase de modélisation/analyse et des objectifs de conception, avec ceux des objets de la classe  $C_i$ . L'objet  $O_{ij}$  est alors utilisé pour la conception de  $O_m$ . Cette étape correspond à la phase de transformation ou d'adaptation.

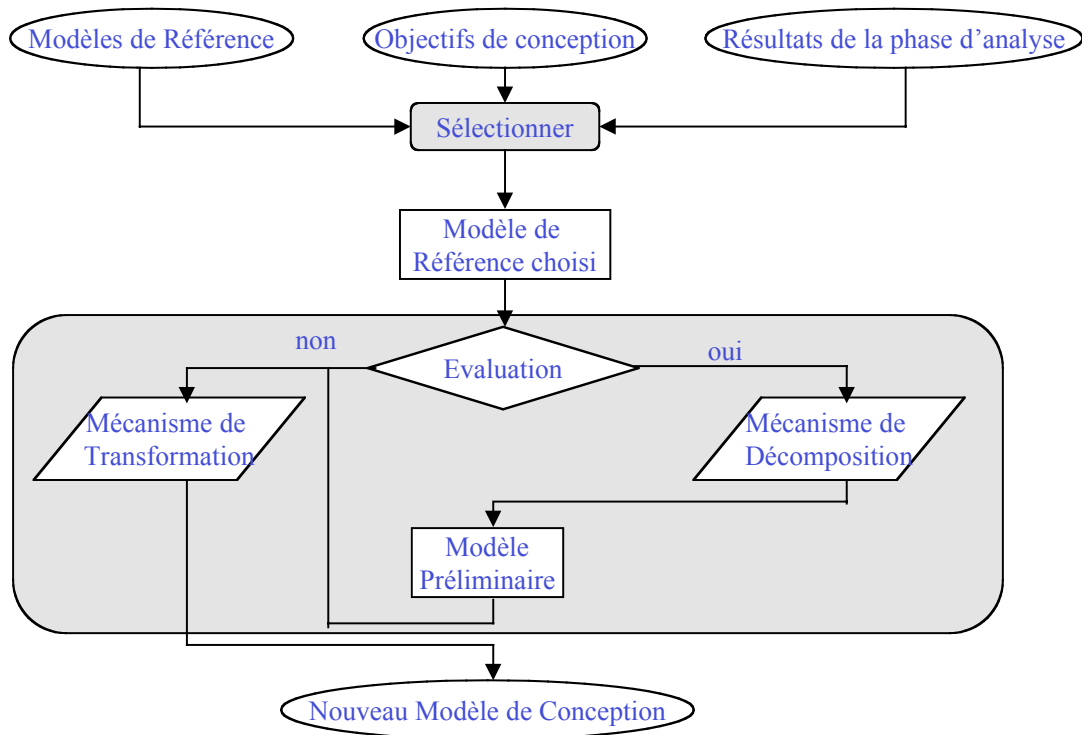


Figure V-5 : Mécanisme de raisonnement CBR

L'adaptateur, en liaison avec le Gestionnaire, manage le processus servant à obtenir le modèle de référence et le contexte qui y est associé. Il gère également les différentes modifications du modèle de référence conduisant à l'obtention du modèle préliminaire (vue fonctionnelle, vue processus ou grille GRAI préliminaires).

Cette étape d'adaptation contient donc toute la phase de conception préliminaire. Les deux premières étapes de l'algorithme CBR « sélectionner- extraire », servent à l'obtention du modèle de référence. L'adaptateur quant à lui, est utilisé à partir du modèle de référence choisi et du contexte de l'étude pour obtenir le modèle préliminaire en utilisant le mécanisme du raisonnement de décomposition ainsi que le raisonnement de correspondance directe.

Le mécanisme de raisonnement de transformation est également utilisé pour obtenir le nouveau modèle de conception, l'objet  $O_c$ . Il existe au début de l'étape d'adaptation une évaluation permettant de décider s'il faut appliquer le mécanisme de décomposition tout seul, ou suivi de celui de transformation, ou encore s'il faut appliquer directement le mécanisme de transformation.

On définit ainsi, un degré de modification  $D_m$  correspondant à la différence entre le modèle de référence et le modèle à concevoir. Des valeurs seuils ( $S_M$  et  $s_m$  comprises entre 0 et 1) ont été établies en comparant les anciennes études réalisées avec les modèles de référence (figure V-6).

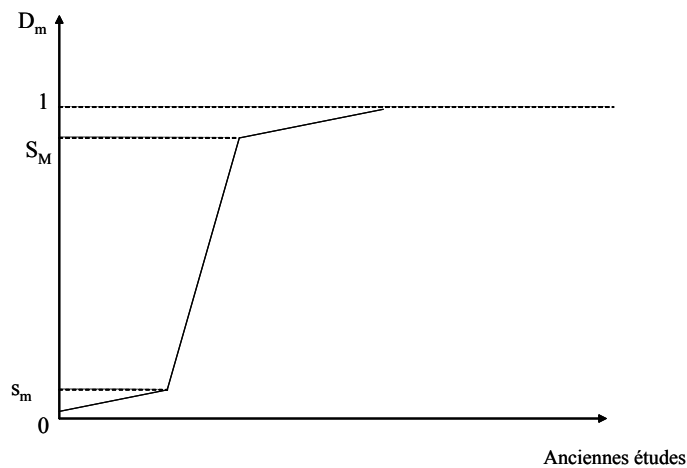


Figure V-6 : valeurs seuils du degré de modification en fonction du nombre d'anciennes études réalisées de l'expérience

Si  $D_m < s_m$  alors le mécanisme de transformation est appliqué tout seul. Si  $D_m > S_M$  le mécanisme de décomposition est appliqué tout seul. Par contre si  $s_m < D_m < S_M$ , les deux mécanismes sont appliqués. Cette évaluation a été décrite en détail au chapitre 3. L'expérience des experts de la méthodologie permet de définir, les valeurs seuils  $s_m$  et  $S_M$  respectivement autour de 0.25 et 0.75.

### 5.5.3 Le mécanisme de décomposition

Le mécanisme de raisonnement sert d'une part, à décomposer une nouvelle étude en différents modèles (fonctionnel, décisionnel,...) d'autre part, il est surtout utilisé au cours de la phase d'adaptation du mécanisme CBR.

En effet, le mécanisme de décomposition (figure V-7) est appliqué à un objet  $O_{ij}$ . Chaque objet  $O_{ij}$  est composé d'un ensemble de sous-objets  $O_{ij}^k$ .

Nous obtenons :

$$O_{ij} = \bigcup_{k=1}^n O_{ij}^k \text{ avec } n \text{ étant égal au nombre de sous-objets.}$$

Deux opérations + et \* sont définies comme au chapitre 4 conduisent à un corps commutatif R. On définit un R-espace vectoriel E associé à un objet  $O_{ij}$ . Soit  $L_1$  un endomorphisme de E et u un vecteur de E.

On définit  $u_k$  le vecteur de E associé au sous-objet  $O_{ij}^k$  tel que  $u_k$  soit un vecteur propre de  $L_1$ .  $\lambda_k$  étant la valeur propre associée à  $O_{ij}^k$ , nous déduisons :

$$L_1(u_k) = \lambda_k * u_k.$$

En étendant cette relation à l'objet  $O_{ij}$  nous avons la combinaison linéaire :

$$L_1(u) = \sum_{k=1}^n \lambda_k * u_k.$$

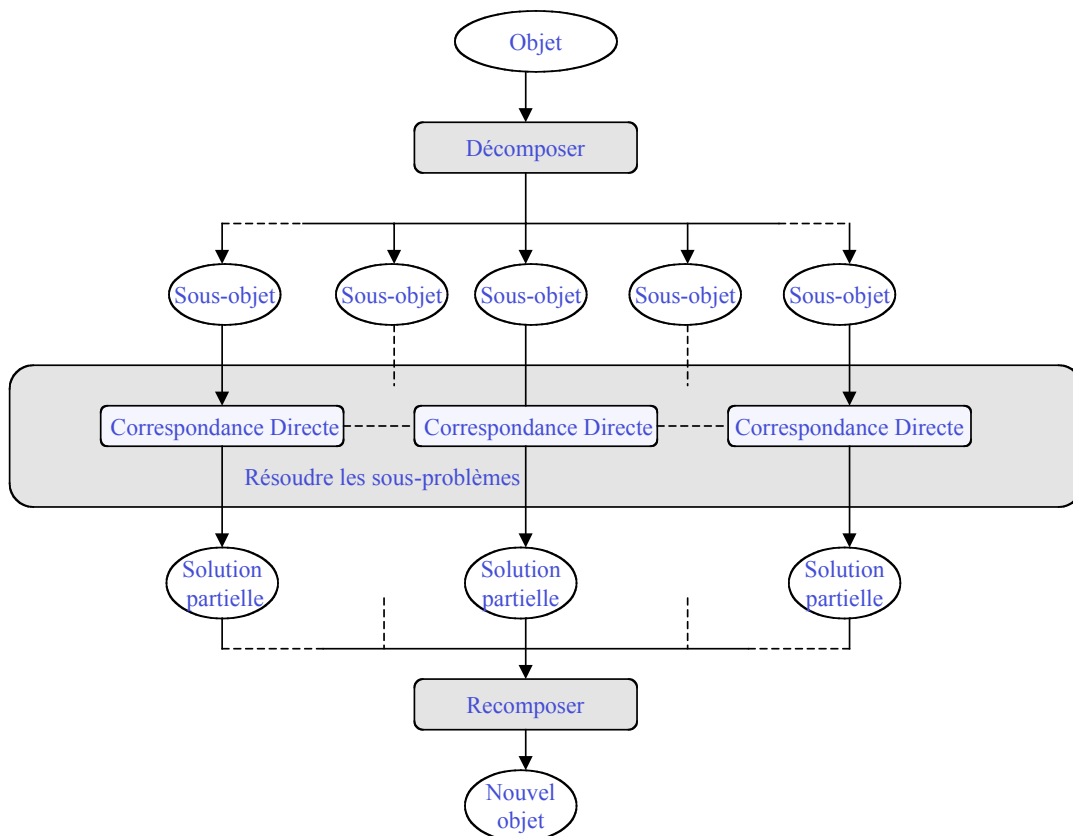


Figure V-7 : Mécanisme de raisonnement de décomposition



L'endomorphisme  $L_1$  décompose donc le vecteur  $u$  de  $E$  associé à l'objet  $O_{ij}$ , en vecteurs propres  $u_k$  associés à chaque sous objet  $O_{ij}^k$ . Il réalise donc la décomposition de l'objet  $O_{ij}$  en sous objets  $O_{ij}^k$ . De plus le choix de vecteurs propres comme base de décomposition introduit une certaine conformité dans la réalisation d'une bonne conception [Suh, 1990].

Nous associons donc à  $L_1$  une matrice diagonale  $M_d$  de valeurs propres  $[\lambda_1 \quad \lambda_k \quad \lambda_n]$ .

Chaque sous-objet  $O_{ij}^k$  est alors étudié séparément. La conception de ce sous-objet est réalisée en accord avec les objectifs de conception. Nous transformons par itérations successives les sous-objets  $O_{ij}^k$  en sous-objet conçu  $O_c^k$ .

En effet, nous définissons un espace vectoriel  $F$  associé à l'objet conçu  $O_c$ . Il est de même dimension que  $E$ . Soit  $L_2$  une application linéaire de  $E$  dans  $F$  qui transforme chaque vecteur propre  $u_k$  associé à l'objet  $O_{ij}^k$  en un vecteur  $v_k$  associé à un sous-objet conçu  $O_c^k$  tel que :

$$v_k = L_2(u_k) = \gamma_k * u_k.$$

$O_c$  est composé de  $n$  objets, donc nous avons  $n$  vecteurs propres  $v_k$  ( $k$  varie de 1 à  $n$ ). Nous définissons alors une matrice  $M_c$  de valeurs propres  $[\gamma_1 \quad \gamma_k \quad \gamma_n]$  associée à l'application linéaire  $L_2$ .

La solution de conception de l'objet  $O_{ij}$  est obtenue en combinant les différentes solutions partielles obtenues pour les sous-objets  $O_{ij}^k$ . On obtient :

$$O_c = \bigcup_{k=1}^n O_c^k.$$

L'étape de recombinaison revient alors à la combinaison de tous les sous-objets conçus. Nous obtenons finalement le nouvel objet global. Soit  $L_3$  un endomorphisme de  $F$  et  $v$  le vecteur associé à l'objet conçu  $O_c$ . Nous avons :

$$L_3(v) = \sum_{k=1}^n \sigma_k * v_k$$

La matrice  $M'_d$  de valeurs propres  $[\sigma_1 \quad \sigma_k \quad \sigma_n]$  est associée au vecteur  $v$ .

Le mécanisme de décomposition revient à la composée d'applications linéaires  $L$  telle que  $L = L_3 \circ L_2 \circ L_1$ . La matrice associée à  $L$  est  $M = M'_d * M_c * M_d$ . La Conception d'un objet  $O_{ij}$  est la transformation du vecteur associé  $u$ , à travers l'endomorphisme  $L_1$ , l'application linéaire  $L_2$  et l'endomorphisme  $L_3$ , en un vecteur  $v$  associé à un objet conçu  $O_c$ . C'est l'algorithme « décomposer-résoudre-recomposer ». Il sert pour la réalisation des différents modèles préliminaires.

Par exemple, nous pouvons décomposer une grille de référence (objet  $O_{ij}$ ) en centres de décision ( $O_{ij}^k$ ) en respectant le formalisme de la Grille GRAI. Chaque centre de décision est ensuite conçu séparément notamment en utilisant le raisonnement de correspondance directe. Les coefficients  $\lambda_k$  seront pris égaux à 1 en raison de la nature identique des sous-objets considérés.

Il en est de même pour les coefficients  $\sigma_k$  et  $\gamma_k$ . La grille préliminaire est alors la structure globale, c'est-à-dire la combinaison des solutions partielles de conception. C'est une partie de l'étape d'adaptation du mécanisme CBR. Il est à noter que ce mécanisme est également utilisé au niveau du mécanisme de raisonnement de généralisation et de classification.

#### 5.5.4 Le mécanisme de transformation

L'adaptation du modèle préliminaire est alors réalisée grâce au raisonnement de transformation avec le concours du groupe de synthèse pour obtenir le modèle final. Les règles de transformation sont essentiellement celles établies au chapitre 3 et stockées dans une base de règles. Ce sont les règles de conception du système expert. Elles sont utilisées avec le modèle préliminaire et avec les résultats de la phase de modélisation/analyse pour générer des alternatives de conception. Le groupe de synthèse et le concepteur choisissent la solution qu'ils jugent comme la meilleure. Cette solution devient la solution par le raisonnement de transformation.

Ce mécanisme sert également dans le cas où le degré de modification de l'évaluation précédant la phase d'adaptation du mécanisme CBR est supérieur à 0.75. Le modèle préliminaire est alors le modèle obtenu lors de la phase de modélisation.

Ce mécanisme combine l'expertise humaine, c'est-à-dire la connaissance du domaine avec des options plus formelles issues de l'application des règles de conception établies.

Aux objets  $O_{ij}$  et  $O_c$  sont associés respectivement les vecteurs  $w$  et  $v$  appartenant aux espaces vectoriels  $E$  et  $F$ . On définit  $r_q$  une application linéaire associée à une règle de transformation telle que :

$$r_q(w) = x_q$$

Elle transforme le vecteur  $w$  en un vecteur intermédiaire  $x_q$  associé à un objet intermédiaire  $X_q$ . Elle modifie donc une partie de l'objet  $O_{ij}$  conformément au contenu de la règle choisie.

A ce niveau, la connaissance des experts permet de décider de l'acceptation de cette transformation.

Cette opération est ensuite répétée pour transformer le vecteur intermédiaire  $x_q$  de  $X_q$  en  $x_{q+1}$  de  $X_{q+1}$  :

$$r_{q+1}(x_q) = x_{q+1}$$

Et ainsi de suite jusqu'à l'obtention du vecteur  $v$  de l'objet  $O_c$  qui est le nouvel objet conçu. Si  $R$  est la composée des applications linéaires  $r_q$  définies et associées aux règles de transformation, on a :

$$R = (r_1 \circ r_2 \dots \circ r_q \dots \circ r_p)$$
 avec  $q$  variant de 1 à  $p$ .

A cette application nous associons une matrice de transformation  $M_t$  égale au produit des matrices  $M_{tq}$  associées aux  $p$  applications composant  $R$ . Nous obtenons donc :

$$v = M_t * w$$

Il est à noter qu'après l'application des règles de transformation, une évaluation globale est effectuée par le groupe de synthèse pour décider de la conformité de l'alternative de conception choisie par rapport aux objectifs fixés et à leur connaissance du domaine.

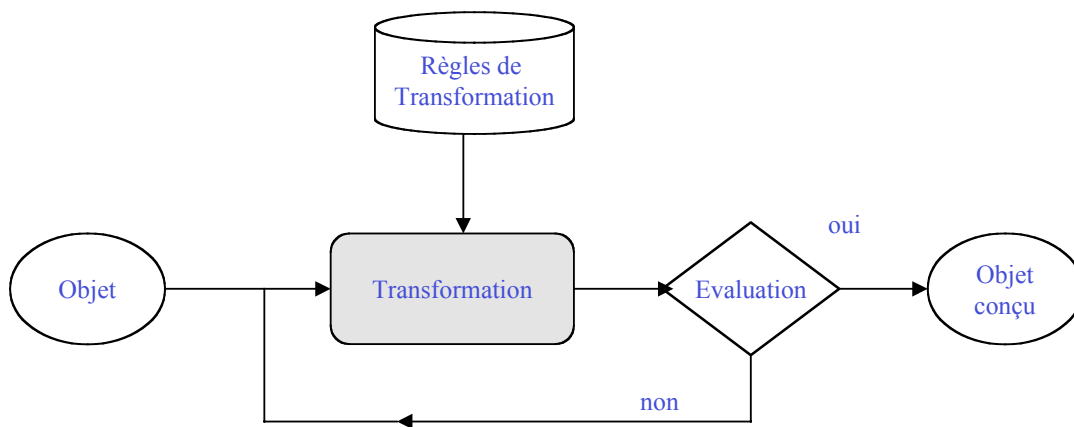


Figure V-8 : Mécanisme de Transformation

## 5.6 Nouvelle méthode de résolution de problèmes proposée

Nous désirons élaborer un système hybride qui intègre et coordonne, dans la résolution de problèmes, le CBR, le MBR (Modelling-Based Reasoning) et le RBR (Rule-Based Reasoning). Différents travaux ont été réalisés sur l'intégration de ces trois approches.

Un système intelligent (figure V-9) est composé [Rao, 2000] de trois bases de données :

- ☞ une mémoire de cas qui stocke les problèmes résolus ; chaque cas contient des informations sur l'explication et la solution d'un problème résolu,
- ☞ une base de modèle causal qui stocke les modèles de processus représentant le rapport causal entre les variables de processus,
- ☞ une base de règles de production qui stocke les règles permettant de résoudre les problèmes triviaux d'opérations.

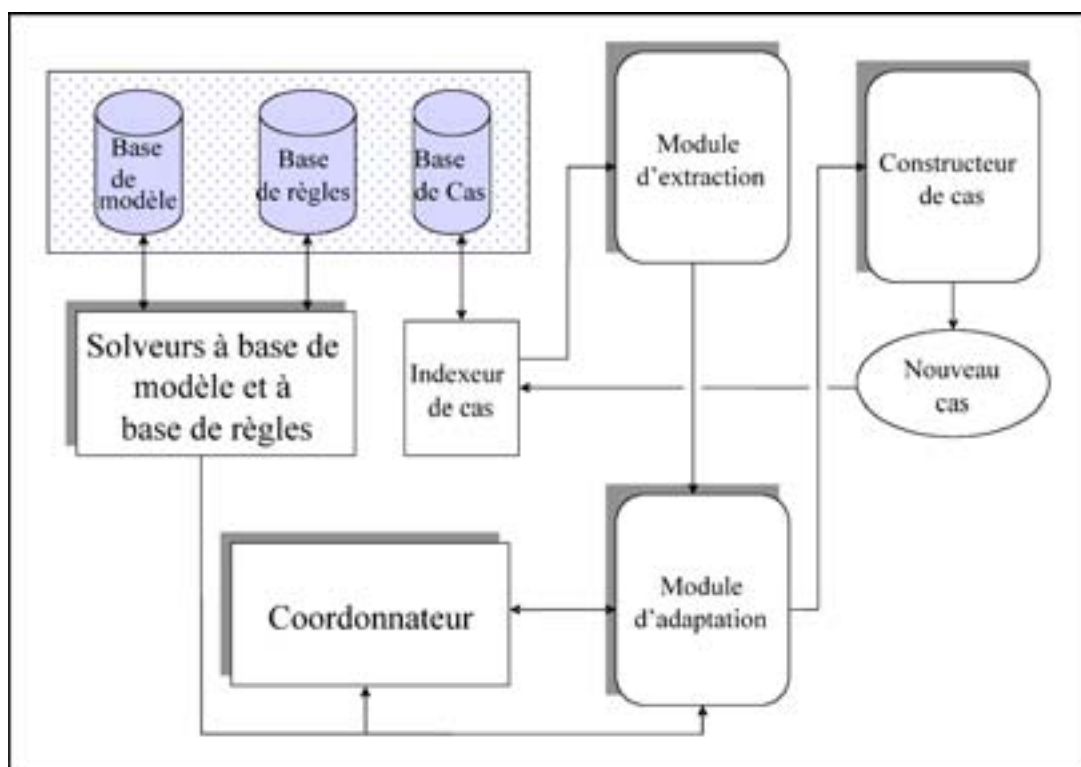


Figure V-9 : Système hybride intelligent

Ces bases de données sont liées d'une part à des solveurs à base de modèle et à base de règles et d'autre part à un indexeur de cas. Le système intelligent comporte également des modules d'extraction de cas et d'adaptation de cas, ainsi qu'un coordonnateur pour gérer les mécanismes de raisonnement et un constructeur de cas.

Les quatre mécanismes de raisonnement sont organisés en différentes couches. Ils opèrent avec des types de connaissance variés et génèrent des solutions diverses. L'expertise humaine constitue une couche complémentaire dans la résolution de problèmes. Elle est employée lorsque les mécanismes ne peuvent résoudre le problème et des informations ou connaissances additionnelles d'experts humains sont requises. Ces différentes couches de raisonnement ne sont évidemment pas indépendantes, elles coopèrent pour résoudre un problème. Il doit donc y avoir un basculement permanent d'une couche à l'autre et des échanges de résultats.

Pour un problème donné, c'est-à-dire la conception d'un nouveau système de production, nous commençons par la conception de la vue fonctionnelle, suivie de celle du modèle physique, puis nous passons à la conception du modèle décisionnel global, suivie du modèle décisionnel local, ensuite nous réalisons celle du modèle processus et enfin nous terminons par celle du modèle informationnel. L'application de la méthode de résolution de problèmes diffère selon la sous-phase de conception à réaliser.

En effet, pour la conception des modèles fonctionnel, processus et décisionnel global nous utilisons les quatre mécanismes décrits ci-dessus. Par exemple pour le modèle décisionnel, nous nous basons sur un raisonnement de généralisation et de classification pour établir les classes de référence et donc les différentes grilles de référence associées à ces classes de référence. Ceci nous conduit à l'utilisation de modèles génériques dans notre conception.

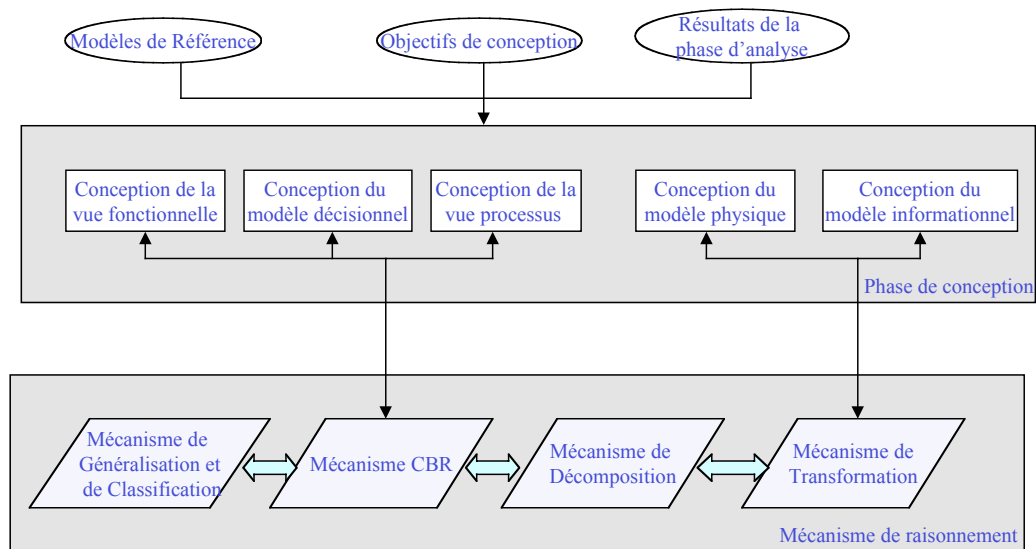


Figure V-10 : Méthode de résolution de problèmes

Au cours de la macro-étape « choix de la grille de référence », nous utilisons essentiellement les mécanismes de classification et de CBR pour trouver la classe de référence correspondant à l'étude courante et la grille de référence associée. Pour cette sous-phase de conception, chaque grille de référence correspond à un cas. Nous retrouvons dans la base de cas non pas les études effectuées, mais les grilles de référence associées aux classes de référence que nous avons pré-établies à l'aide des différents cas enregistrés dans la base de cas de GIMCase (chapitre 3).

Le mécanisme CBR utilise un algorithme « Sélectionner - Extraire - Transformer » conduisant à l'obtention de la grille de référence correspondant à l'étude en cours. Le sélecteur choisit la classe de référence et la grille de référence associée. Un extracteur sort la grille de référence choisie de la base de donnée afin de pouvoir l'adapter. L'adaptateur gère le processus conduisant à l'obtention de la grille de référence et du contexte qui lui est associé. Il gère également non seulement les différentes modifications de la grille de référence conduisant à l'obtention de la grille préliminaire, mais également celles qui serviront à élaborer la grille finale de conception. Il englobe donc les macro-étapes « conception préliminaire » et « conception détaillée ».

Au cours de la macro-étape « conception préliminaire », nous utilisons une combinaison du raisonnement de décomposition avec le principe de correspondance directe. Nous décomposons la grille de référence en centres de décision. Nous concevons chaque centre de décision de la grille préliminaire, par correspondance directe, puis nous recomposons cette grille en y ajoutant les liens décisionnels et informationnels. On a donc un algorithme « Décomposer - Résoudre - Recomposer » permettant l'obtention de la grille préliminaire.

Au cours de la macro-étape « conception détaillée », nous utilisons le raisonnement de transformation. En effet, à partir de la grille préliminaire et des résultats de la phase de Modélisation/diagnostic ainsi que des objectifs de conception, nous transformons à l'aide de règles de conception la grille préliminaire en grille de conception adaptée à notre étude courante.

Nous utilisons les règles de conception pour générer des alternatives de conception. Les modifications complémentaires et le choix conduisant à la solution finale de conception sont laissés au groupe de synthèse et au concepteur. Nous obtenons à la fin de cette macro-étape une grille finale de conception (figure V-11).

Le raisonnement procédural proposé utilise donc pour ces macro-étapes tous les mécanismes de raisonnement que nous avons élaborés, c'est-à-dire ceux de classification, de CBR, de décomposition et de transformation.

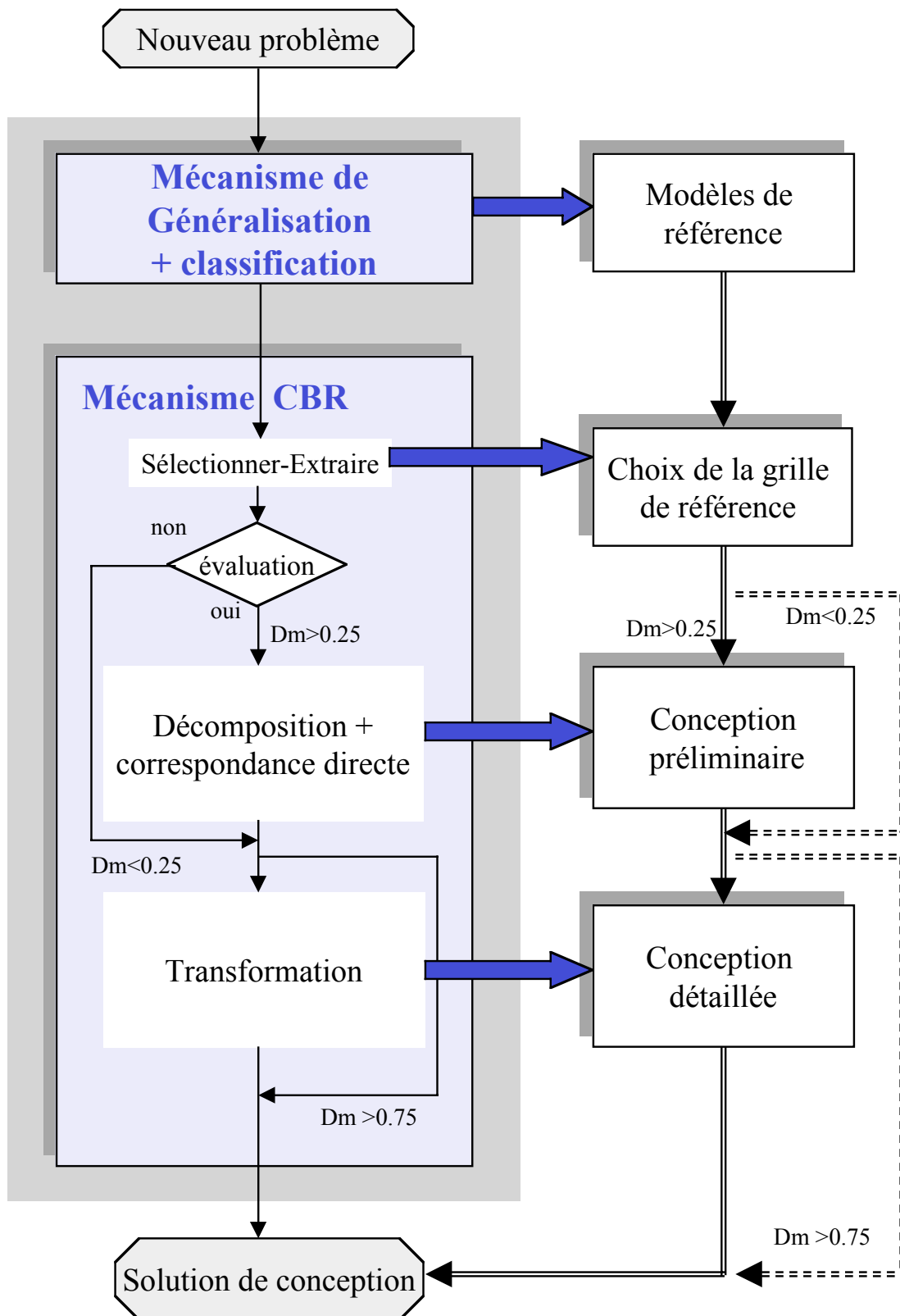


Figure V-11 : Interactions entre les mécanismes de raisonnement et le processus de conception

En définitive, pour les sous-phases de conception des modèles fonctionnel, décisionnel et de processus, nous définissons trois macro-étapes. Les deux premières sont le « choix du modèle de référence » et la « conception préliminaire » : elles exécutent des raisonnements de type procédural (raisonnement où toutes les connaissances, la façon de les utiliser et la conduite du raisonnement sont entièrement figées sous formes d'algorithmes ou d'automates finis). Alors que pour la dernière c'est-à-dire la « conception détaillée », nous nous servons des raisonnements de type formel (fondés sur la manipulation syntaxique de structures symboliques à l'aide de règles, dans le cadre d'une certaine sémantique).

Pour la conception du modèle décisionnel local, c'est-à-dire la conception de réseaux, nous utilisons le mécanisme de CBR pour trouver le réseau de référence associé à chaque centre de décision de notre grille de conception. Dans ce cas, l'adaptateur n'est composé que du mécanisme de transformation. L'objectif est d'exploiter au mieux la connaissance des experts du domaine pour adapter les modèles génériques.

Comme indiqué au chapitre 3, nous n'avons pas élaboré de modèles de référence pour les modèles physique et informationnel. L'application des mécanismes de classification, de CBR et de décomposition paraît donc inutile. Nous utilisons le mécanisme du raisonnement de transformation pour les adapter. Ainsi, la conception de ces deux modèles est entièrement basée sur la connaissance du domaine (expertise humaine) que nous exploitons en associant les experts (entreprise et méthodologie GRAI).

La combinaison de ces différents types de raisonnement permet l'élimination des inconvénients de chacun d'entre eux. Par exemple, l'idée de conception basée sur l'expérience antérieure, est très bonne à condition de pouvoir contourner son inconvénient que représente l'insuffisance de cas dans la base de cas (modèle CBR). Nous proposons alors un processus de raisonnement qui n'utilise que les avantages du CBR. Pour éliminer les inconvénients du CBR nous proposons donc de le combiner avec les raisonnements de décomposition, de généralisation, de correspondance directe et de transformation. L'objectif étant d'obtenir un processus de conception simple, efficace et qui intègre très bien le système hybride d'aide au diagnostic et à la conception dans e-MAGIM.



## 5.7 Conclusion

En conclusion, dans ce chapitre nous avons proposé une architecture générale pour le système d'aide au diagnostic et à la conception des systèmes de production. Nous avons ensuite, établi un processus général de résolution de problèmes. Nous avons montré les principes généraux que doivent respecter la méthode de résolution de problèmes associée à l'architecture proposée. Ainsi, en accord avec ce processus, nous élaborons différents mécanismes de raisonnement. Ces mécanismes de raisonnement sont liés à des étapes du processus de conception de système de production proposé au chapitre 4. Nous avons ensuite élaboré une méthode de résolution de problèmes intégrant ces mécanismes de raisonnement utilisés en fonction des caractéristiques des modèles du système de production à concevoir. Cette méthode a pour objectif de définir une approche de formalisation des raisonnements en vue de développer GRAIXpert, l'outil informatique d'aide à l'expertise pour les phases de diagnostic et de conception de systèmes de production.

La méthode de raisonnement élaborée correspond à la dernière étape avant la mise en place et l'implémentation du nouveau système d'aide.

Il convient de noter que le système proposé répond parfaitement aux caractéristiques nécessaires à un système intelligent [Rao, 2000]. En effet, il propose, d'une part, une base de cas pour sauvegarder la connaissance tacite des experts du domaine et de la méthodologie dans le but d'une réutilisation ultérieure, d'autre part des bases de modèles et de règles pour la connaissance explicite. Un gestionnaire permet de coordonner les paradigmes de raisonnements élaborés dans ce chapitre ainsi que de gérer les différents solveurs (à base de modèles ou règles). L'indexeur de cas, l'extracteur de cas ainsi que l'adaptateur y sont prévus sous la forme déjà utilisée dans GIMCase [Moudden, 1997]. Le constructeur de cas est contenu dans le solveur à base de modèles et correspond au cas où nous ne disposons pas de système existant. Le mécanisme utilisé pour conception préliminaire fait donc lieu de constructeur de cas. Cet outil d'aide offre en plus la possibilité d'améliorer la connaissance qu'il contient.

Ce système d'aide sera développé par la société de transfert de recherche GRAISOFT. Il sera intégré dans e-MAGIM<sup>+</sup>, nouvel outil support de la méthodologie GRAI.



*« Il faut comprendre qu'ils ne remplacent pas la réalité, ce que laisse parfois supposer la présentation qui en faite. En usant des modèles, il faut rester persuadé que l'on joue, en fait, avec un réel supposé et c'est la culture du modélisateur qui, restant au plus près des pratiques tout en continuant à approfondir ses connaissances disciplinaires et interdisciplinaires, saura les utiliser en valeur et limite. » [BIGREL, 1992]*

---

---

## CHAPITRE 6

### EXEMPLE D'ILLUSTRATION

---

---



## Table des matières

6.1. Introduction.....	159
6.2. Initialisation de l'étude et phase de modélisation de l'existant.....	160
6.2.1. Initialisation de l'étude.....	160
6.2.2. Modélisation de l'existant.....	162
6.3. Diagnostic de l'existant .....	164
6.4. Conception du nouveau système décisionnel .....	166
6.4.1. Classification -Généralisation.....	166
6.4.2. Sélection CBR.....	167
6.4.3. Evaluation CBR.....	171
6.4.4. Adaptation CBR : Décomposition et Transformation.....	171
6.5. Conclusion .....	182



## 6.1 Introduction

Dans cette thèse, des spécifications pour le développement de GRAIXpert (outil d'aide au diagnostic et à la conception de systèmes de production) ont été élaborées. Elles reposent sur des concepts que nous avons répartis en deux groupes :

- ☞ d'une part, ceux servant à l'élaboration du sous-module de diagnostic et comportant une nouvelle classification des règles GRAI,
- ☞ d'autre part, ceux utilisés dans le sous-module de conception et ayant trait au processus de conception ainsi qu'aux différents raisonnements qui y sont mis en exergue.

Ce chapitre a pour objectif d'illustrer les concepts présentés, en montrant notamment comment est utilisé le système hybride d'aide à l'expertise pour le diagnostic et la conception de systèmes de production. Nous montrons également les interactions du système proposé avec le logiciel e-Magim.

Nous présentons un exemple basé sur un cas réel conduisant à l'utilisation successive de tous les concepts abordés dans cette thèse. Ainsi, nous traitons les différentes phases de GIM en insistant sur l'apport des différents concepts. Dans cette étude, nous traitons essentiellement le modèle décisionnel.

## 6.2 Initialisation de l'étude et phase de modélisation de l'existant

### 6.2.1 Initialisation de l'étude

L'exemple présenté a pour but d'illustrer l'approche exposée dans les chapitres précédents. L'étape d'initialisation est celle réalisée normalement en utilisant comme aide l'éditeur graphique e-Magim. La première visite dans l'entreprise permet aux experts de la méthode de connaître celle-ci (présentation de l'entreprise) et aux employés (groupe de synthèse) de découvrir la méthodologie GRAI. Au cours de la deuxième visite une proposition d'étude est faite. Les informations collectées par e-Magim sur l'entreprise (contexte de l'étude, objectifs,...) sont dupliquées et intégrées dans le système à travers le gestionnaire.

L'entreprise concernée par notre exemple comporte 61 employés et son secteur d'activités est la production manufacturière. Elle est affiliée à un grand groupe. C'est une entreprise de fabrication d'outillages pour différentes divisions du groupe (représentant 90% de la charge). Elle a une bonne position sur le marché, même si elle se trouve dans une situation économique et sociale extrêmement difficile. C'est la raison principale pour laquelle l'entreprise souhaite réorganiser son système de production.

La production est du type 'petites séries' et le processus utilisé est du type discret. Le type d'organisation produit/process de l'entreprise est convergent et les fournisseurs de l'entreprise sont fiables. C'est une entreprise réalisant essentiellement en valeur ajoutée une transformation physique et ses produits sont fabriqués à la commande.

Il existe une vingtaine de familles de produits. Ces produits sont essentiellement les moules pour la plasturgie, les boîtiers pour l'électronique, les poinçons/outillages, les matrices, les outillages et ensembles complexes. Les critères de performance de la principale famille de produits sont dans l'ordre la qualité, le délai et le coût. Les contraintes de qualité pour cette famille de produits sont importantes. Les produits de cette famille sont également d'une haute technologie et sont d'une grande complexité. La principale cause de complexité des produits de cette famille est l'assemblage. Le délai d'une commande est environ de 4 à 6 semaines.

Les différentes fonctions de cette entreprise sont le service conception, celui de méthode, le service qualité, celui de fabrication et le service commercial.



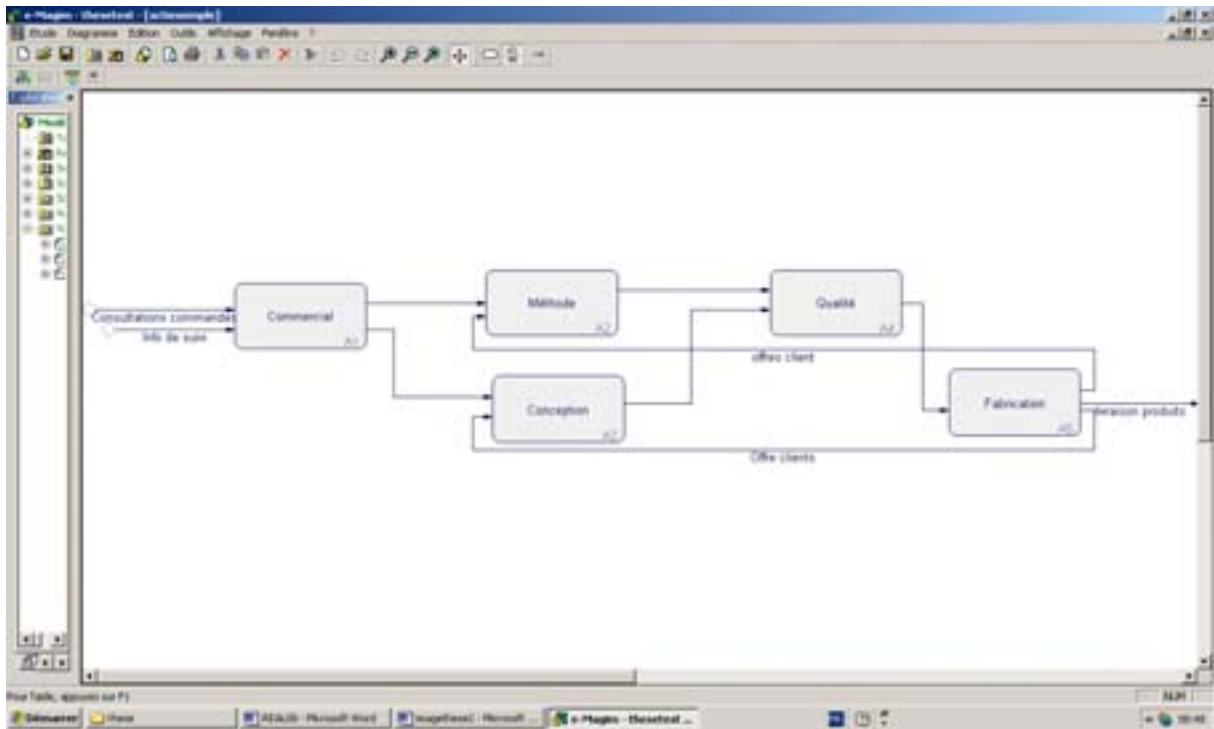


Figure VI-1 : modèle fonctionnel de l'entreprise

Les objectifs de cette étude sont essentiellement l'amélioration des performances de cette entreprise. En effet, les délais des commandes reçues par l'entreprise ne sont pas respectés et elle subit des pertes financières continues.

Le contexte global de l'étude peut être résumé en trois points :

- ✓ Le groupe était en complète restructuration.
- ✓ La situation sociale au sein de l'entreprise était très difficile et agitée.
- ✓ Pour résoudre les problèmes de l'entreprise trois études de réorganisation ont été réalisées sans succès, c'est-à-dire sans évolution.

Dans ce contexte, l'entreprise souhaite lancer une étude plus ciblée focalisant sur son système décisionnel en utilisant la méthodologie GRAI.

La phase d'initialisation de l'étude est réalisée, notamment par la mise en place des différents groupes intervenant au cours de l'étude :

- ☞ Le groupe de pilotage composé du responsable de l'entreprise et du représentant dans celle-ci du groupe auquel elle est rattachée,
- ☞ Le groupe de synthèse comprenant les responsables des différents services de l'entreprise,
- ☞ Le spécialiste : un expert de la méthodologie GRAI

## 6.2.2 Modélisation de l'existant

La phase modélisation comprend la réalisation d'un planning de déroulement de l'étude avec les différents groupes. Une succession de travaux du groupe de synthèse et de différentes interviews permet la réalisation des différents modèles qui seront ensuite analysés. Nous nous intéresserons particulièrement dans cet exemple au modèle décisionnel global, son analyse et sa reconception.

Les informations concernant l'entreprise (contexte, objectifs, ...) seront utilisées par le système d'aide à l'expertise pour les phases de diagnostic et de conception.

La phase de modélisation du système décisionnel est un processus itératif et comprend en général, plusieurs versions de grille GRAI. En effet, la première version est obtenue à l'issue de la première réunion du groupe de synthèse, en respectant les règles de construction du modèle.

Les règles de construction du modèle ont été directement intégrées dans e-Magim qui sert à l'élaboration des modèles. Le gestionnaire est utilisé pour récupérer les modèles établis par e-Magim. Ainsi pour l'entreprise étudiée la première version du modèle décisionnel de l'existant (voir figure VI-1) est dupliquée dans le système expert afin de pouvoir continuer la modélisation.

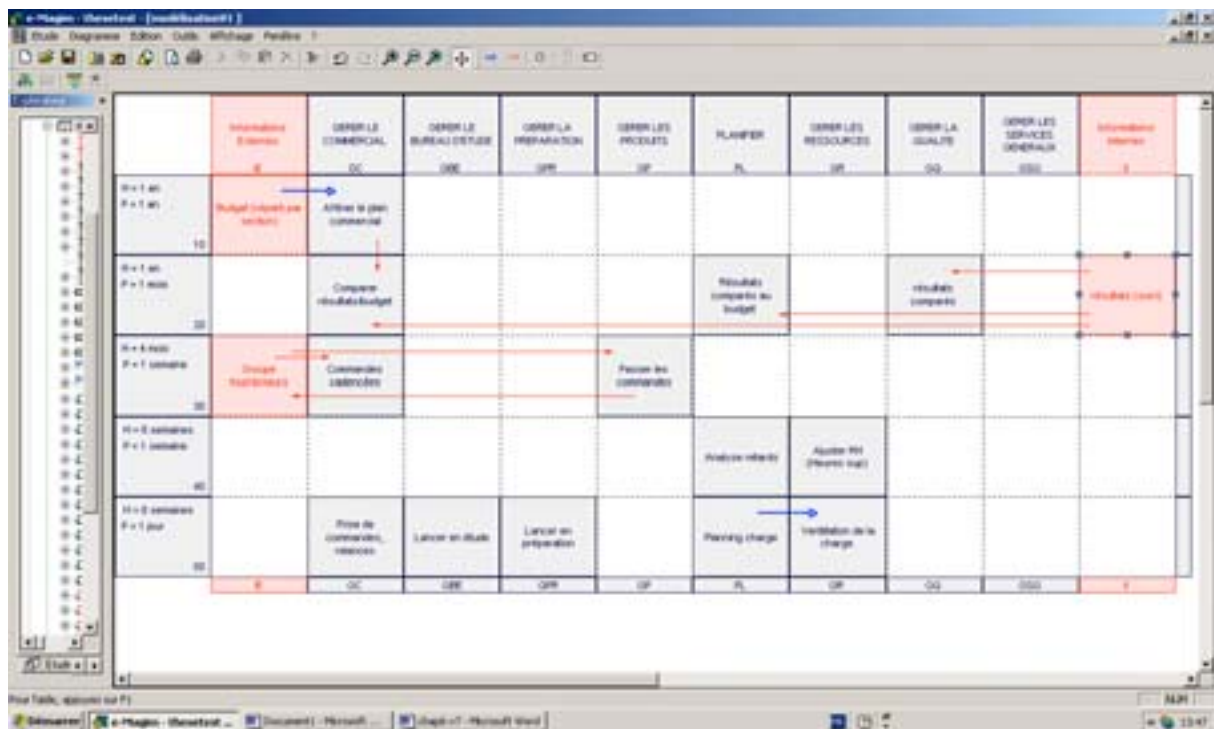


Figure VI-1 : Grille GRAI de modélisation de l'exemple (Première version)

A cette étape, nous utilisons les règles de vérification de modèle pour vérifier la conformité du modèle établi par rapport au formalisme GRAI.

En plus de celles-ci, des interviews de chaque acteur de l'entreprise permettent de recueillir des informations complémentaires pour la réalisation d'une grille de modélisation plus complète et pour l'élaboration des réseaux GRAI associés à chaque centre de décision de la grille établie. La version finale du modèle décisionnel global de l'existant (Figure VI-2) est ainsi obtenue : ce dernier nous sert à réaliser la phase de diagnostic.

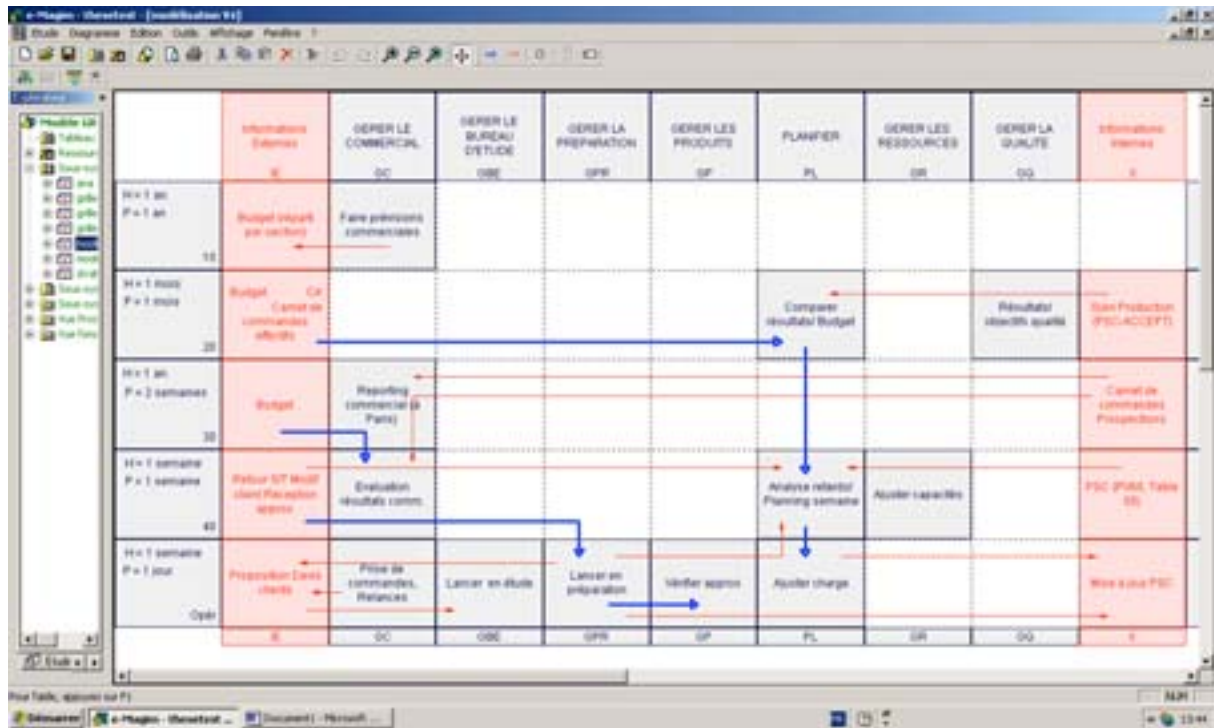


Figure VI-2 : Modèle du système décisionnel global existant (Version finale)

Remarque : Une partie des règles de vérification de modèle est utilisée pour la phase de modélisation, et l'autre pour la phase de diagnostic.

### 6.3 Diagnostic de l'existant

La grille obtenue au cours de l'étape précédente est diagnostiquée en utilisant les règles de vérification de système élaborées (voir annexe 1). Par exemple, la règle VSGD 4 « **Si** l'horizon de prise de décision d'un centre de décision donné est inférieur au plus long cycle des activités qu'il pilote **Alors** il y a Dysfonctionnement », permet de se rendre compte qu'aux niveaux 20 et 40 les horizons ne couvrent pas les cycles d'activité qu'ils pilotent (niveau 20 : H=1mois, niveau 40 : H= 1 semaine). Il existe donc un **manque de visibilité**, c'est-à-dire que chaque décision peut générer de nouvelles perturbations.

L'application de la règle VSGD 6 « **Si** pour un niveau donné, l'horizon de prise de décision est inférieur à la période de remise en cause des décisions **Alors** il y a Dysfonctionnement » montre des dysfonctionnements aux niveaux 20 et 40. En effet, les horizons et les périodes de ces niveaux décisionnels sont égaux : niveau 20 H= 1 mois et P= 1 mois ; niveau 40 H= 1 semaine et P= 1 semaine. Il y a également un **manque de visibilité** car les horizons sont trop courts.

La règle VSGD 13 « **Si** un centre de décision est isolé dans une grille **Alors** dysfonctionnement » détecte une incohérence importante dans le fonctionnement du système de production étudié. En effet, il existe un centre de décision de la fonction qualité qui n'est lié à aucun autre centre de décision. Ce qui signifie que dans l'entreprise aucune information ou décision ne part de ce centre vers d'autres (ou n'arrive dans ce centre à partir d'autres).

L'analyse complète du système existant a servi à déduire les points à améliorer dans l'entreprise à partir des dysfonctionnements détectés. Ce sont :

- ☞ Le manque de planification au niveau long terme qui a des conséquences directes sur le système décisionnel telles que : la non anticipation et la non évaluation des conséquences en terme de capacité et d'approvisionnement, la non optimisation de la gestion des approvisionnements ainsi que de la sous-traitance faite à court terme, le manque d'informations en provenance du service commercial et l'insuffisance des retours et enfin le manque d'intégration entre les fonctions du système.
- ☞ Le manque de planification au niveau moyen terme dont les conséquences sont : les difficultés d'ajustement des capacités par rapport aux charges, l'absence de synchronisation avec les autres fonctions (commercial, préparation, gestion des produits, gestion des ressources) et les difficultés d'anticipation des principales perturbations.

- ☞ La gestion très perturbée à court terme due à l'absence de niveau long et moyen termes, entraînant une gestion de tous les événements à court terme et donc sans visibilité pour la prise de décision. Ainsi, la réaction à un événement peut générer d'autres perturbations sans que le décideur puisse le déceler. De même, il existe des difficultés réelles pour maîtriser les délais et les coûts de production. Un tel mode de fonctionnement des prises de décision perturbe l'ensemble des fonctions du système.

Le diagnostic du système existant à l'aide des règles élaborées a permis également de mettre en évidence les points forts de l'entreprise. Ce sont essentiellement la forte capacité d'adaptabilité et de réaction de l'entreprise ainsi que les bonnes compétences techniques qui impliquent un niveau de qualité élevé des produits et un investissement humain très important.

## 6.4 Conception du nouveau système décisionnel

Cette partie illustre les concepts introduits dans les troisième et cinquième chapitres. Elle montre également comment le système expert hybride répond aux attentes de l'utilisateur pendant la phase de conception de la démarche de la méthodologie GRAI. Nous mettrons également en évidence l'apport des règles de conception ainsi que celui des modèles de référence élaborés au quatrième chapitre. Nous comparerons enfin la solution obtenue à l'aide du système hybride d'aide à l'expertise GRAIXpert avec celle réalisée par les experts de la méthodologie afin de justifier notre démarche.

### 6.4.1 Classification -Généralisation

Nous rappelons que dans le système d'aide à l'expertise, deux critères ont été choisis (figure VI-2) pour la typologie des systèmes de production. Le critère  $cp_1$ ='type de la production' et le critère  $cp_2$ ='répétitivité de la production'.

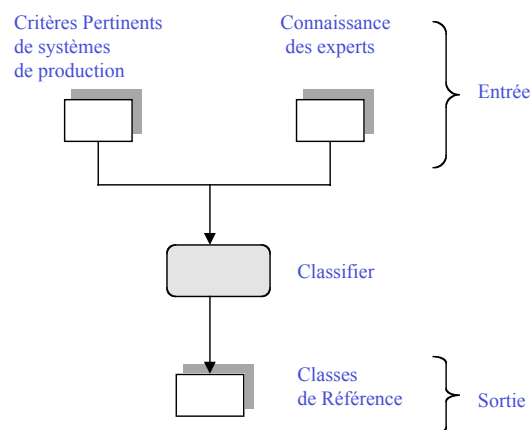


Figure VI-2 : Phase de Classification de systèmes de production

Nous associons à  $cp_1$  le vecteur  $\alpha$  tel que :

$\alpha^T = (\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \alpha_3)$  avec  $\alpha_1$  = production continue,  $\alpha_2$  = production manufacturière et  $\alpha_3$  = production de service.

Au critère  $cp_2$  correspond le vecteur  $\beta$  tel que :

$\beta^T = (\beta_1 \quad \beta_2 \quad \beta_3)$  avec  $\beta_1$  = production grandes séries,  $\beta_2$  = production en petites et moyennes séries, et  $\beta_3$  = production unitaire.

On obtient une classification des systèmes de production telle que :

$$s_p = \sum_{j=1}^3 \alpha_j * \left( \sum_{k=1}^3 \beta_k * c_k \right).$$

Remarque : Classification – Généralisation ne fait pas partie de la démarche de conception et ne se répète pas. Le résultat de cette étape est la typologie de systèmes de production présentée au chapitre 4). La conception commence en réalité à partir de la phase Sélection CBR.

### 6.4.2 Sélection CBR

La sélection CBR consiste à choisir le modèle générique (modèle de référence) et à l'instancier, c'est-à-dire appliquer le mécanisme de raisonnement CBR.

Pour cela, nous utilisons un questionnaire préétabli pour collecter toutes les informations correspondant au contexte de l'entreprise à étudier. Les réponses de ce questionnaire servent de données d'entrée pour déclencher le mécanisme CBR, mais permettent également de définir les attributs de nos deux critères, ceux de l'exemple traité. Ceci revient en réalité à la récupération des données sur l'entreprise, présentées dans la partie initialisation de l'étude. Nous déduisons ainsi la classe de référence à utiliser qui est celle correspondant aux systèmes de production manufacturière en 'petites et moyennes séries' (figure VI-3). C'est l'étape de choix (sélection).

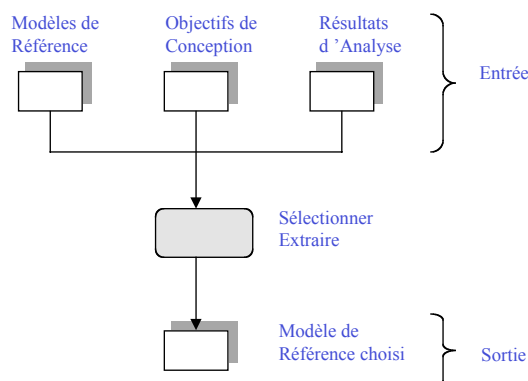


Figure VI-3 : Sélection –Extraire

La grille de référence (figure VI-4) de cette classe est extraite de la base de données servant à la capitalisation des connaissances.

Remarque :

- Dans notre approche, chaque classe ne comporte qu'un modèle de référence

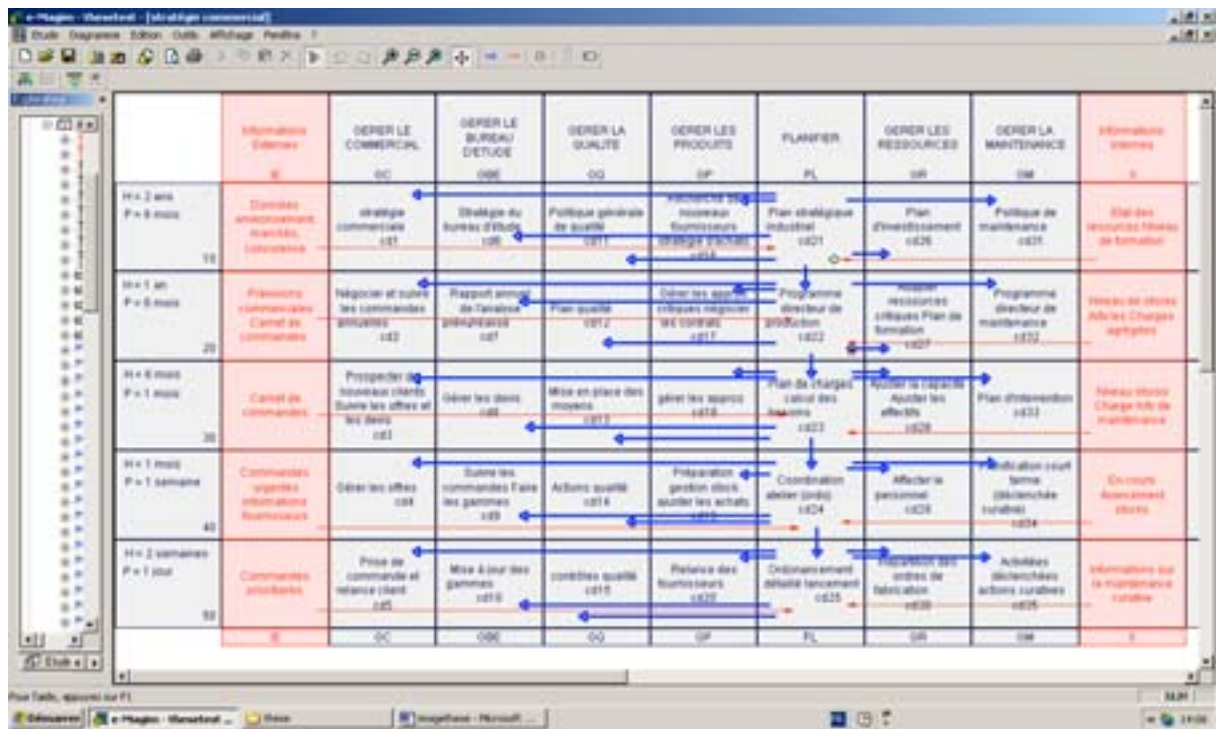


Figure VI-4 : Modèle décisionnel de référence choisi (production manufacturière en petite et moyenne séries)

Les centres de décision du modèle de référence ci-dessus sont décrits par un ensemble de descriptions de la propriété (voir tableau 1) et un ensemble de descriptions de la structure qui définit la position de chaque centre de décision dans la grille (voir tableau 2)



Numéro de la propriété	Description de la propriété
P1	Définition de la stratégie commerciale
P2	Négociation des commandes annuelles
P3	Suivi des commandes annuelles
P4	Prospection de nouveaux clients
P5	Suivi des offres et des devis
P6	Gestion des offres
P7	Prise de commandes
P8	Relance des clients
P9	Définition d'une politique générale du bureau d'étude
P10	Rapport annuel de l'analyse Prévu/Réalisé
P11	Gestion des devis
P12	Suivi des commandes
P13	Elaboration des gammes
P14	Mise à jour des gammes
P15	Définition et mise en place d'une politique générale de qualité
P16	Définition des procédures de contrôle des produits de gestion des non conformités, des certificats des produits et mise en place des capacités correspondantes
P17	Précision des points de contrôle des processus
P18	Planification des actions qui permettent de prévoir la mise en place des procédures et des règles et des actions de contrôle prévues sur les processus
P19	Mise en place des procédures
P20	Réalisation des certificats de conformités et traitement des non conformités
P21	Vérification et contrôle court terme de la qualité
P22	Recherche de nouveaux fournisseurs
P23	Négociation des achats
P24	Définir et calculer les paramètres de gestion de famille d'articles
P25	Définir et négocier les contrats cadres et les procédures d'achats
P26	Etablir les tailles de lots, le cadencement des commandes, l'évaluation des fournisseurs et la budgétisation
P27	Procéder aux achats relatifs aux articles critiques ou suivre la conjoncture extérieure qui peut influencer ces articles
P28	Détermination et réservation des besoins en approvisionnements
P29	Ajustage de approvisionnements critiques
P30	Enregistrement des besoins d'achats, négociation et suivi des appels d'offres
P31	Mise à disposition des articles nécessaires à la réalisation de l'ordonnancement
P32	Valorisation des stocks et enregistrement des entrées sorties
P33	Relance des fournisseurs
P34	Suivi de réception de contrôles quantitatifs et qualitatifs
P35	Vérification des factures et règlement
P36	Don des états prévisibles des paramètres globaux de gestion de production par rapport aux possibilités financières de l'entreprise
P37	Détermination des politiques d'approvisionnement et de stock pour répondre à la demande prévue
P38	Programmation de la réalisation des produits
P39	Pilotage du calcul des besoins et des approvisionnements critiques
P40	Pilotage de la planification grossière des capacités

P41	Définition du plan opérationnel par le système piloté
P42	Ajustement des capacités et des approvisionnements par rapport aux objectifs définis dans le cadre du PDP
P43	Affectation dans l'espace et dans le temps des opérations de production
P44	Réalisation des opérations de production et adaptation
P45	Etablissement du plan d'embauche et du plan d'investissement en ressources techniques
P46	Mise en place du programme de formation et répartition des effectifs
P47	Détermination des moyens techniques à utiliser pour réserver les charges de travail (déterminées à la fonction planifier)
P48	Mise en place des effectifs nécessaires à la réalisation des charges de travail
P49	Détermination en détail des ressources utilisées pour réaliser les opérations planifiées dans l'ordonnancement
P50	Affectation des ressources humaines sur les postes de travail
P51	Répartition des Ordres de fabrication
P52	Définition des méthodes de maintenance les plus appropriées
P53	Planification des actions prédictives et préventives
P54	Evaluation des ratios d'interventions curatives, des besoins en terme de composants et de capacité
P55	Préparation et planification des activités de maintenance déclenchées et réservation de la capacité pour la maintenance curative
P56	Calcul des besoins en pièces et composants
P57	Définition des équipes et des ressources de maintenance nécessaires
P58	Mise en œuvre des activités déclenchées
P59	Gestion des actions curatives en fonction des demandes d'intervention
P60	Réalisation des actions curatives

Tableau 1 : Exemple de descriptions de propriétés

Numéro de la structure	Description de la structure
s1	fonction « gérer le commercial »
s2	fonction « gérer le bureau d'étude »
s3	fonction « gérer la qualité »
s4	fonction « gérer les produits »
s5	fonction « planifier »
s6	fonction « gérer les ressources »
s7	fonction « gérer la maintenance »
s8	niveau « stratégique 1 (très long terme) »
s9	niveau « stratégique 2 (long terme) »
s10	niveau « tactique (moyen terme) »
s11	niveau « opérationnel 1 (court terme)»
s12	niveau « opérationnel 2 (très court terme)»

Tableau 2 : Exemple de descriptions de structure (structure : fonctions et niveaux d'horizon)

### 6.4.3 Evaluation CBR

Une évaluation est alors réalisée. Elle revient à la comparaison de la grille du système existant de l'étude en cours et de la grille de référence extraite. En effet, chaque centre de décision de la grille de référence extraite est comparée à celle du système existant. On obtient le degré de modification. Cet exemple correspond au cas où le degré de modification ( $D_m=0.71$ ) de la grille de conception est compris entre 0.25 et 0.75.

L'étape d'adaptation du cas extrait en fonction du contexte et des spécificités de l'étude en cours est alors déclenchée en tenant compte de la valeur du degré de modification. Elle est composée de deux phases :

- ☞ La première concerne la conception préliminaire c'est-à-dire celle qui est formalisée
- ☞ Et la deuxième est la conception détaillée qui tient compte du savoir et du savoir-faire humain.

La phase de conception préliminaire est donc obligatoire. Le mécanisme de décomposition est donc déclenché pour l'étape d'adaptation. Il sera suivi de celui de transformation car le degré de modification obtenu est compris entre 0.25 et 0.75. En effet, les modifications subies par le système existant sont suffisamment importantes pour nécessiter une reconception complète du système décisionnel, mais l'expertise humaine du domaine reste utile pour affiner le nouveau modèle.

### 6.4.4 Adaptation CBR : Décomposition et Transformation

La phase d'adaptation du mécanisme CBR est donc réalisée chronologiquement avec le mécanisme de décomposition et celui de transformation. Le résultat de cette phase est la nouvelle grille de conception.

### 6.4.4.1 Mécanisme de décomposition - conception préliminaire

Le mécanisme de décomposition comporte une étape de décomposition en objets (centres de décision) suivie d'une autre de recombinaison (figure VI-5).

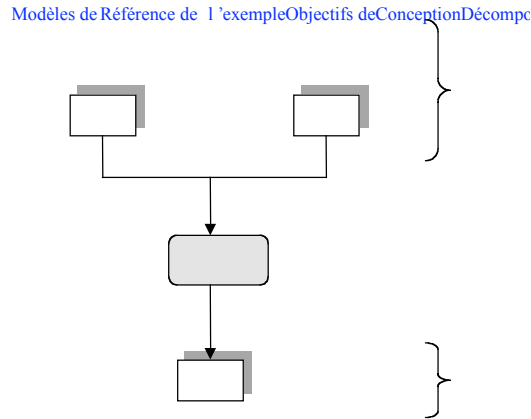


Figure VI-5 : Décomposition – Recombinaison

A chaque centre de décision  $a_i$  (voir par exemple **cd2** dans la figure VI-6) de la grille de référence choisie, sont associés des attributs  $s_k$  ( $s_1$  : gérer le commercial et  $s_9$  : niveau stratégique long terme) et des propriétés  $p_j$  ( $p_2$  : négociation des commandes annuelles et  $p_3$  : suivi des commandes annuelles).

	$s_9$		$s_1$			
Fonction Niveaux	Infos externes	Gérer le Commercial		Planifier	Gérer les ressources	Infos internes
Stratégique long terme		<b>CD2</b>				

Propriétés  $p_2$  et  $p_3$  (finalités du CD<sub>2</sub>)

Figure VI-6 : Propriétés et attributs d'un centre de décision

On obtient les matrices suivantes, reliant d'une part les propriétés aux centres de décision, et d'autre part les centres de décision aux attributs.

$$(M_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & . & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & . & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & . & 0 & 0 \\ . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & . & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & . & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (M_{ki})_{r \times m} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & . & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & . & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & . & 1 & 0 & 0 \\ . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & . & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & . & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pour débiter la conception préliminaire nous avons besoin de l'état initial du système étudié, déduit à partir des objectifs de conception et des résultats de la phase de diagnostic. Les objectifs de cette étude sont essentiellement l'amélioration des délais non respectés et la diminution des pertes financières.

Les objectifs de conception sont fournis par la direction (groupe de pilotage).

Le processus de conception est itératif par le fait qu'il est impossible d'identifier de façon complète et cohérente les besoins fonctionnels du futur système. La conception est réalisée à partir de l'existant. Le concepteur demande aux membres du groupe de synthèse les centres de décision de la grille d'analyse que l'entreprise souhaite conserver ; ils correspondent en général aux objectifs fournis.

On obtient  $A_0 = \{cd_1, cd_3, cd_4, cd_{12}, cd_{22}, cd_{24}, cd_{29}\}$  représentant l'état initial  $Q_0 = \{P_0^-, S_0^-\}$ .

De plus, les propriétés de l'ensemble  $P_0^-$  sont identifiées comme:  $P_0^- = \{\text{élaboration des décisions d'anticipation à moyen et long terme, amélioration des moyens d'action et de la flexibilité du système, maîtrise des coûts et des délais, meilleure utilisation du concept de contrat}\}$ .

Ainsi, aux centres de décision de  $A_0$  correspondent entièrement les structures non encore validées de l'ensemble  $S_0^-$ . Les attributs associés à ces centres de décision sont ceux de l'ensemble :

$S_0^- = \{s_1, s_3, s_5, s_6, s_8, s_9, s_{10}, s_{11}\}$ .

Etape	Transformation	$P_i^+$	$P_i^-$	$S_i^+$	$S_i^-$
i=0		{}	{élaboration des décisions d'anticipation à moyen et long terme, amélioration des moyens d'action et de la flexibilité du système, maîtrise des coûts et des délais, meilleure utilisation du concept de contrat}	{}	{S1,S3, S5, S6, S8, S9, S10, S11}
i=1	<u>Raffinement de structure</u> <u>Transforme dans l'espace &lt;A,S&gt; les attributs désirés en validés</u>	{}	{élaboration des décisions d'anticipation à moyen et long terme, amélioration des moyens d'action et de la flexibilité du système, maîtrise des coûts et des délais, meilleure utilisation du concept de contrat}	{S1,S3, S5, S6, S8, S9, S10, S11}	{}
i=2	<u>Analyse</u> Transforme de l'espace <A,S> les attributs validés en propriétés validés de l'espace <A,P>	{ <del>P1, P4, P5, P6, P10, P16, P17, P22, P38, P39, P40, P43, P48, P49</del> }	{élaboration des décisions d'anticipation à moyen et long terme, amélioration des moyens d'action et de la flexibilité du système, maîtrise des coûts et des délais, meilleure utilisation du concept de contrat}	{S1,S3, S5, S6, S8, S9, S10, S11}	{}
i=3	Raffinement de propriétés Transforme les propriétés non encore validées en propriétés validées dans l'espace <A,P>	{P1, P4, P5, P6, P10, P16, P17, P22, P38, P39, P40, P43, P48, P49} $\cup$ { <del>P24, P25, P27, P28, P29, P30, P39, P40, P41, P42, P45, P46, P12, P13, P19, P20, P31, P32, P48, P1, P5, P6</del> }	{}	{S1,S3, S5, S6, S8, S9, S10, S11}	{}
i=4	Synthèse Transforme les propriétés validées de l'espace <A,P> en attributs valide de l'espace <A,S>	{ P1, P4, P5, P6, P10, P12, P13, P16, P17, P19, P20, P22, P24, P25, P27, P28, P29, P30, P31, P39, P40, P42, P43, P45, P46,P48, P49}	{}	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S8, S9, S10, S11}	{}
i=5	<u>Analyse</u> Transforme de l'espace <A,S> les attributs validés en propriétés validés de l'espace <A,P>	{ P1, P4, P5, P6, P10, P12, P13, P16, P17, P19, P20, P22, P24, P25, <del>P26</del> , P27, P28, P29, P30, P31, <del>P38</del> , P39, P40, P42, P43, P45, P46, <del>P47</del> ,P48, P49}	{}	{S1, S2, S3, S4, S5, S6, S8, S9, S10, S11}	{}

Tableau 3 : les transformations et résultats

La première transformation est le raffinement de descriptions de structure correspondant dans ce cas à la validation des attributs de  $S_0^-$ . C'est l'application dans l'espace  $\langle A, S \rangle$  d'un endomorphisme défini au chapitre 3.

Ce raffinement permet également de particulariser les attributs (par exemple  $s_8, s_9, s_{10}$  et  $s_{11}$ ) en précisant pour chacun la période et l'horizon. En effet, le système hybride d'aide à l'expertise pour le diagnostic et la conception de systèmes de production donne une fourchette raisonnable liée au modèle de référence dans laquelle le concepteur en accord avec le groupe de synthèse choisit pour chaque attribut proposé sa période et son horizon. On obtient l'ensemble  $S_1^+$ .

L'état atteint est caractérisé par  $Q_1 = \{P_1^+, P_1^-, S_1^+, S_1^-\}$  avec  $P_1^+ = \{\}$ ,  $P_1^- = P_0^-$ ,  $S_1^+ = S_0^-$ ,  $S_1^- = \{\}$  avec les attributs 'niveau' entièrement définis.

La deuxième étape (2<sup>ème</sup> transformation) est celle de l'analyse. Elle réalise l'opération  $P_2 = (M'_{jk}) * S_1$  avec  $M'_{jk}$  égale à la matrice inverse associant les attributs aux propriétés (via les centres de décision),  $S_1$  le vecteur associé à l'ensemble  $S_1^+$  et  $P_2$  celui associé à  $P_2^+$ .

Par exemple (figure VI-7), les attributs  $s_1 = \text{« gérer le commercial »}$  et  $s_8 = \text{« niveau stratégique très long terme »}$  définissent le centre de décision  $cd_1 = \text{« Stratégie commerciale »}$ . A ce centre de décision est associé la propriété  $p_1 = \text{« Définition de la stratégie commerciale »}$ .

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ . \\ . \\ p_{30} \\ . \\ . \\ p_{60} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & . & . & 1 & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & . & . & 0 & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & . & . & 0 & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & . & . & 0 & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & . & . & 0 & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & . & . & 0 & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & . & . & 0 & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & . & . & 0 & . & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ . \\ . \\ . \\ s_8 \\ . \\ s_{12} \end{bmatrix}$$

On obtient à la fin de cette transformation l'ensemble  $P_2^+$ .



Figure VI-8 : Exemple de transformation 'analyse' pour un centre de décision

L'étape suivante est le raffinement de descriptions de propriétés qui conduit à la transformation des objectifs de conception en une combinaison de propriétés existantes. Le processus de raffinement sert à décomposer, à détailler et à préciser les besoins fonctionnels / objectifs en des termes connus par rapport à la connaissance du domaine afin que la conception puisse être réalisée. Notre système hybride d'aide à l'expertise est muni d'un dictionnaire utilisé pour la compréhension des objectifs de conception et leur décomposition en propriétés connues.

Par exemple, pour l'objectif {(élaboration des décisions d'anticipation à long et moyen termes)}, le système retient : décision et long et moyen et termes. Il propose en tenant compte des fonctions principales de la grille : {(planification à long et moyen termes), (gestion des produits à long et moyen termes), (gestion des ressources à long et moyen termes)}.

La propriété connue mais non encore validée 'Planification à long et moyen termes' est décomposée en propriétés connues et validées (tableau 3). La validation de la proposition conduit à l'obtention des propriétés suivantes : { P<sub>24</sub>, P<sub>25</sub>, P<sub>26</sub>, P<sub>27</sub>, P<sub>28</sub>, P<sub>29</sub>, P<sub>30</sub>, P<sub>38</sub>, P<sub>39</sub>, P<sub>40</sub>, P<sub>41</sub>, P<sub>42</sub>, P<sub>45</sub>, P<sub>46</sub>, P<sub>47</sub>}.

Objectif de conception	Numéro de la propriété connue	Description de la propriété
Planification à moyen et long terme	P38	Programmation de la réalisation des produits
	P39	Pilotage du calcul des besoins et des approvisionnements critiques
	P40	Pilotage de la planification grossière des capacités
	P41	Définition du plan opérationnel du système piloté
	P42	Ajustement des capacités et des approvisionnements par rapport aux objectifs définis dans le cadre du PDP

Tableau 4 : Décomposition des objectifs en propriétés connues

Ce principe est appliqué pour chacun des objectifs de conception. Les propriétés ci-après sont alors déduites et ajoutées à l'ensemble des propriétés déjà validées P<sub>2</sub><sup>+</sup>. Nous obtenons l'ensemble P<sub>3</sub><sup>+</sup>. Le nouvel état est Q<sub>3</sub> = { P<sub>3</sub><sup>+</sup>, P<sub>3</sub><sup>-</sup>, S<sub>3</sub><sup>+</sup>, S<sub>3</sub><sup>-</sup>} avec P<sub>3</sub><sup>-</sup> = {}, S<sub>3</sub><sup>+</sup> = S<sub>2</sub><sup>+</sup> et S<sub>3</sub><sup>-</sup> = {}.



L'étape suivante (synthèse) assure la transformation des nouvelles propriétés en attributs de conception. On a donc  $s = (M_{kj})^* p$  avec  $p$  associé à  $P_3^+$  et  $s$  associé à  $S_4^+$ .

Par exemple, pour l'objectif 'gestion des produits à long et moyen termes' les propriétés associées par la transformation précédente sont :  $p_{24}, p_{25}, p_{27}, p_{28}, p_{29}, p_{30}$ . La synthèse (figure VI-8) permet de déduire les centres de décision associés à ces fonctionnalités, puis les attributs correspondant à ces centres. On obtient  $\{cd_{16}, cd_{17}, cd_{18}, cd_{19}\}$  et  $\{s_4, s_8, s_9, s_{10}, s_{11}\}$ . Les propriétés  $p_{25}$  (définition des contrats et procédures d'achats) et  $p_{27}$  (procédure d'achats relatifs aux articles critiques, surveillance de la conjoncture extérieure) définissent le centre de décision  $cd_{17}$  auquel sont associés les attributs  $s_4$  et  $s_9$ .

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_4 \\ \vdots \\ s_9 \\ \vdots \\ s_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \cdot & 1 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \cdot & 1 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot & 0 & \cdot & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_{25} \\ \vdots \\ p_{27} \\ \vdots \\ p_{60} \end{bmatrix}$$

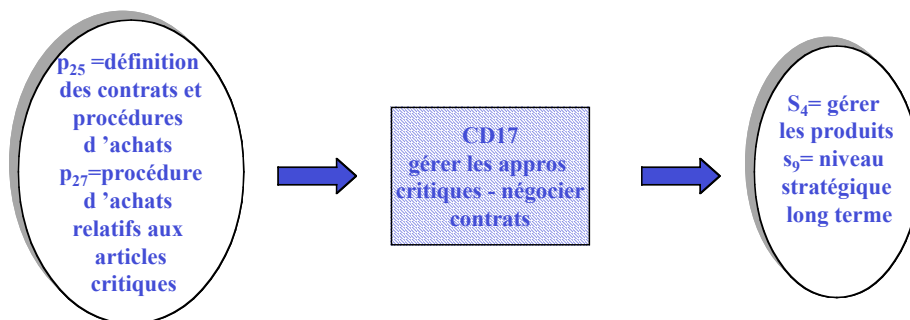


Figure VI-8 : Exemple de synthèse

Nous obtenons les centres de décision suivants :  $\{cd_9, cd_{14}, cd_{17}, cd_{18}, cd_{19}, cd_{22}, cd_{23}, cd_{24}, cd_{27}, cd_{28}, cd_{29}\}$  et on déduit tous les attributs concernés ( $s_2, s_4$ ) qui sont ajoutés à ceux déjà existants ( $S_3^+$ ). Les centres de décision précédents sont utilisés pour trouver  $S_4^+$ . Nous obtenons à l'issue de la transformation  $S_4^+$ . L'état atteint est  $Q_4 = \{P_4^+, P_4^-, S_4^+, S_4^-\}$  avec  $P_4^+ = P_3^+, P_4^- = \{\}$  et  $S_4^- = \{\}$ .

Nous remarquons par ailleurs, qu'aux attributs  $s_2$  et  $s_4$  ainsi déterminés correspondent également des propriétés qui ne sont pas dans  $P_4^+$ . La dernière étape (analyse) revient à déterminer à l'aide de la matrice  $(M'_{jk})$  ces nouvelles propriétés ( $p_{26}, p_{38}, p_{47}$ ) qui sont alors ajoutées à  $P_4^+$ . On obtient alors après transformation  $P_5^+$  et l'état  $Q_5 = \{P_5^+, P_5^-, S_5^+ S_5^-\}$  avec  $P_5^- = P_4^-$ ,  $S_5^+ = S_4^+$  et  $S_5^- = S_4^-$ .

Le résultat cette première étape de la phase conception préliminaire est représenté par le dernier état obtenu par transformation  $Q_5$ . Nous y trouvons toutes les propriétés fonctionnelles et les attributs structurels servant à construire la nouvelle grille préliminaire répondant aux besoins fonctionnels désirés. Les centres de décision correspondant à ces attributs et propriétés sont alors placés dans la grille (figure VI-9).

La deuxième étape permet de placer les différents cadres de décision de la grille. Nous avons le choix entre une architecture en arrête et une autre en pi. Ce choix est effectué par le concepteur en liaison avec le groupe de synthèse. Pour cet exemple, la structure en pi a été choisie.

	Informations Etapes	GERER LE COMMERCIAL	GERER LE BUREAU D'ETUDE	GERER LES PRODUITS	PLANIFIER	GERER LES RESSOURCES	GERER LA QUALITE	Informations Etapes
H = 5 ans P = 1 an		GC	GDE	GP	PL	GR	GQ	
		Stratégie commerciale		Gestion des achats de l'entreprise	Stratégie de production		Démarche qualité	
H = 1 an P = 1 mois	Commandes (bonnes, prévisionnelles)	Négocier et suivre les commandes arrivées	Rapport annuel de l'analyse prévisionnelle	Politique d'approvisionnement, sélection fournisseurs	Programme directeur de production	Plan de formation	Adaptation aux besoins	Capacité disponible
H = 4 mois P = 1 semaine	Commandes (bonnes, fournisseurs)	Prospecter de nouveaux clients, suivre les offres et les devis	Gérer les devis	Gestion des approvisionnements à court terme	Plan de Capacité	Ajuster la capacité	Gérer la qualité des achats de contrôle	Travaux en cours
H = 3 semaines P = 1 semaine	Commandes (bonnes)	Gérer les offres	Suivre les commandes, faire les gammes	Relancer les fournisseurs	Ordonnancement	Allouer les ressources	Implémentation du contrôle	
		GC	GDE	GP	PL	GR	GQ	

Figure VI-9 : Grille préliminaire vue comme une association d'objets

Les flux informationnels de la grille sont placés de manière automatique à partir des pseudo-centres d'informations internes et externes vers les centres de décision de la colonne planifier de la grille. Les centres de décision de cette colonne sont ensuite liés aux centres des autres colonnes (Figure VI-10).

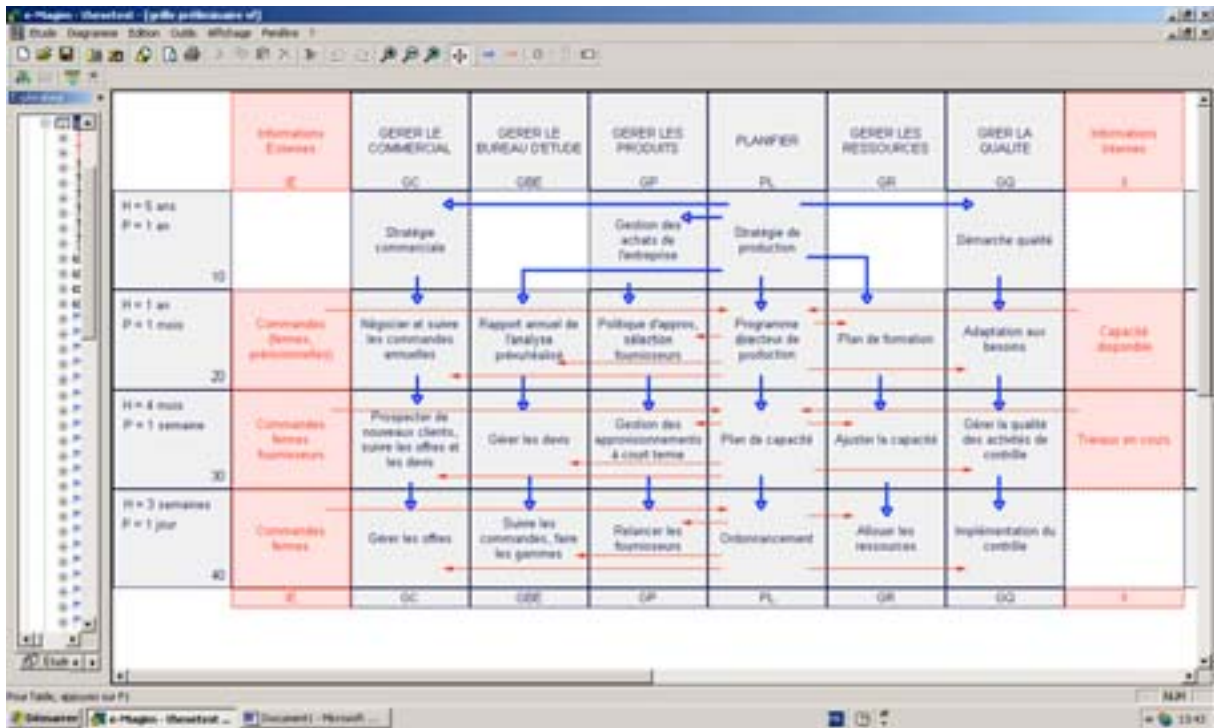


Figure VI-10 : Grille préliminaire de conception

La grille de conception préliminaire est le résultat que fournit le mécanisme de décomposition et des ajustements de la deuxième étape.

#### 6.4.4.2 Mécanisme de transformation – conception détaillée

Le mécanisme de transformation est ensuite appliqué à la grille de conception préliminaire. L'objectif est d'affiner celle-ci en accord avec le groupe de synthèse. Il s'agit donc de profiter de l'expertise humaine pour mieux particulariser la grille ainsi obtenue. Les règles de conception élaborées dans le troisième chapitre servent à faciliter et rendre cohérentes les modifications effectuées.

Par exemple, le groupe de synthèse a jugé que le cadre de décision existant entre le centre de décision  $cd_{16}$  'gestion des achats de l'entreprise' et le centre de décision  $cd_{17}$  'politique d'approvisionnement – sélection fournisseur' doit être transformé en flux informationnel ; car il ne comporte que des informations que donne le représentant du grand groupe dans l'entreprise. Après cette transformation, l'application du bloc de règles de conception permet de remarquer que le centre de décision  $cd_{17}$  ne reçoit donc aucun cadre de décision.

La règle de conception Coo4 « Si un centre de décision de la fonction gérer les produits ne reçoit aucun cadre de décision **et** ce centre de décision n'est pas au niveau décisionnel le plus élevé **et** ce centre de décision envoie un cadre de décision vers un autre centre de décision de niveau inférieur au égal **Alors** créer pour ce un cadre de décision venant du centre de niveau supérieur ou du centre du même niveau et de la fonction Planifier » incite le groupe de synthèse à placer un cadre de décision allant du  $cd_{21}$  vers le  $cd_{17}$ .

En réalité le groupe de synthèse pense que le centre de décision  $cd_{17}$  reçoit plutôt des objectifs ainsi que des contraintes du centre de décision  $cd_{21}$  'Programme directeur de production'. Le flux informationnel entre les deux centres peut donc être transformé en cadre de décision.

Chaque centre de décision, chaque cadre de décision et chaque flux informationnel peuvent ainsi être modifiés, supprimés ou ajoutés en fonction des vœux du groupe de synthèse. Les règles de conception sont déroulées les unes après les autres afin de proposer des améliorations au groupe de synthèse qui choisit en dernier recours les changements opportuns. Ainsi, dans le cadre de cette étude, le groupe de synthèse a par exemple décidé de maintenir le centre de décision  $cd_{16}$  sans cadre de décision entrant, contrairement à une proposition initiale du système hybride.

Le résultat de cette phase est représenté par la grille de la figure VI-11. C'est la nouvelle grille de conception.

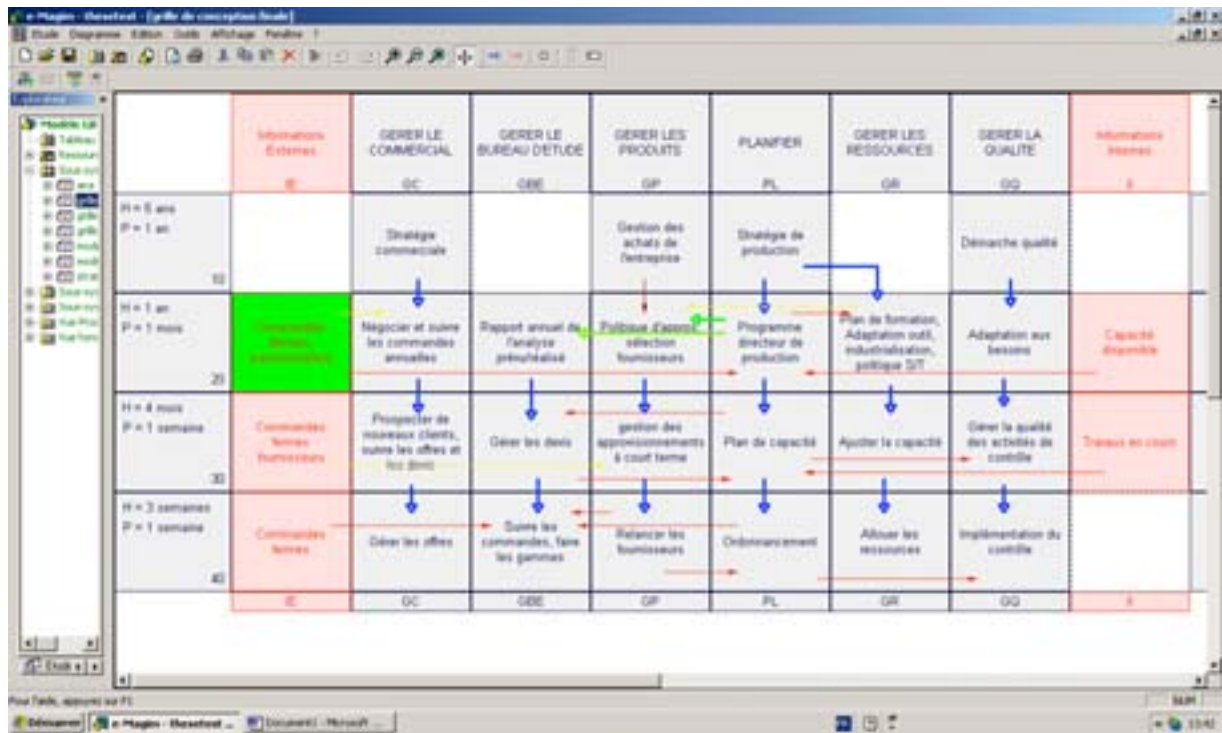


Figure V-11 : Grille de Conception de l'étude

## 6.5 Conclusion

Nous avons présenté les concepts développés pour élaborer les spécifications d'un système d'aide à l'expertise en focalisant notamment sur une approche de formalisation du processus de conception de système de production. Ainsi, les centres de décision du modèle GRAI sont considérés comme des artefacts ayant les fonctionnalités et attributs identifiés. La conception peut alors être formalisée comme un processus itératif de transformation d'états. L'exemple traité dans ce chapitre illustre non seulement l'utilité d'un système hybride pour la modélisation et le diagnostic de système de production, mais aussi la faisabilité de cette approche.

Le système existant est pris en compte dans l'état initial (propriétés fonctionnelles et attributs de structure). Le résultat de la conception préliminaire est un modèle GRAI (grille GRAI) préliminaire. Nous constatons que cette grille peut être mieux particularisée. Nous avons mis à profit l'expérience des experts du domaine pour réaliser cette particularisation, en leur fournissant un ensemble de règles servant de base à la phase de conception détaillée.

Cet exemple montre la vue d'ensemble et la cohérence de l'approche proposée. Il met l'accent sur l'intégration entre les concepts liés aux différents raisonnements utilisés et ceux du processus de conception. La conception préliminaire du modèle décisionnel peut être réalisée automatiquement par une approche formalisée ; la conception détaillée exploite les règles de conception et nécessite des interactions avec l'expert humain. Dans le contexte économique actuel où la survie des entreprises dépend du marché mais également de leur qualité à innover, créer, évoluer, la prise en compte des connaissances humaines dans l'amélioration des performances de l'entreprise nous semble indispensable.







## CONCLUSION GENERALE



La méthodologie GRAI® offre aujourd'hui, après vingt années de développement et d'applications, un large éventail de potentialités pour améliorer les performances du système de production ou de l'entreprise. L'adaptation incontournable de l'entreprise aux réalités du marché implique une structuration des démarches proposées dans la méthodologie ainsi qu'une réaction plus rapide et aisée de ses experts. Les travaux de cette thèse s'inscrivent dans le cadre de la problématique de conception des systèmes de production et du développement de l'outil d'aide support à la conception.

Nous avons vu dans le premier chapitre que les concepts théoriques liés à l'activité de conception et aux principales caractéristiques de la conception de produits peuvent être utilisés en conception de systèmes de production. Nous y avons également montré qu'il est nécessaire de spécifier les activités de la conception de systèmes de production en mettant en évidence le traitement de la connaissance en conception afin de développer un système d'aide à l'expertise.

Une analogie avec la conception de produit (routinière, innovatrice et créative) nous a permis d'établir deux types de conception de systèmes de production : une conception intégrale et une conception corrective. Nous avons mis en évidence l'existence d'une partie formalisée et d'une autre nécessitant l'intervention humaine dans la conception de systèmes de production. Ainsi nous avons montré l'intérêt d'une aide informatique support aux méthodologies de modélisation d'entreprise (capitalisation des connaissances, aide à la modélisation, au diagnostic et à la conception, ...). Le développement d'un tel outil d'aide nécessite de prendre en compte et de représenter les connaissances de natures et de formes diverses et variées. Les connaissances ainsi modélisées doivent être exploitables par les processus de conception.

Les études présentées dans le chapitre 2 ont montré les différents travaux en rapport avec notre problématique. Ainsi dans le cadre de la méthodologie GRAI, l'approche de Zanettin propose une démarche d'application pour la méthodologie. Plusieurs travaux [Akif, 1995], [Durcos, 1995], [Moudden, 1997] ont contribué à développer un outil d'aide à la modélisation et au diagnostic de systèmes de production. Ces différents travaux ont servi de base au développement de cette thèse.

Dans le chapitre 3, nous avons établi un processus de conception pour la phase de conception de la démarche de la méthodologie GRAI, dans lequel se mélange des phases entièrement formalisées à d'autres nécessitant l'expertise humaine du domaine de conception. En effet, nous avons tenté de capitaliser les connaissances des experts de la méthodologie pour établir ce processus.

Ainsi, la connaissance acquise pour certains modèles de la méthodologie GRAI (fonctionnel, décisionnel, processus) facilitent l'établissement de processus automatisés et entièrement gérés par le système hybride d'aide (conception préliminaire).

L'élaboration de ces processus a nécessité la mise en place d'une approche formelle de la conception issue des différents travaux théoriques existants. Le résultat de la conception préliminaire peut être affiné en utilisant l'expertise humaine (conception détaillée). Nous nous sommes inspirés des travaux de ZANETTIN sur la conception et de ceux de MOUDDEN basés sur le CBR (capitalisation et réutilisation des connaissances) pour proposer un processus de conception qui s'appuie sur l'utilisation des modèles de références (pour la conception préliminaire) et des règles de conception (pour la conception détaillée). Ainsi le processus de conception élaboré permet d'automatiser les activités de conception routinière tout en laissant la place à l'expertise humaine pour la conception innovante.

Dans le chapitre 3, nous avons effectué une modélisation des connaissances acquises dans le domaine de système de production dans le but de les exploiter par le processus de conception élaboré au chapitre 4. Ainsi nous avons défini des modes de représentation de la connaissance explicite (modèles de référence et règles) et de la connaissance tacite (cas d'étude). L'utilisation combinée de plusieurs types de connaissances et des modes de représentation appropriés ouvre une voie de recherche prometteuse pour la conception des systèmes de production complexes. Bien que l'étude présentée dans cette thèse se limite au sous-système décisionnel, les concepts et démarches peuvent également appliquer aux autres sous-systèmes.

Nous avons également présenté les bases pour l'élaboration des spécifications du nouveau module GRAIXpert qui pourra devenir un module de e-Magim, utilisé pour apporter aux experts de la méthodologie GRAI, une aide au diagnostic et à la conception au cours de leur étude. Cet outil comporte un module de capitalisation de connaissances dans lequel nous trouvons non seulement les anciennes études réalisées, mais aussi les modèles de référence établis pour chaque domaine de systèmes de production. Il contient également un système à base de connaissances muni d'une nouvelle classification des règles (modélisation, diagnostic, conception) élaborée en utilisant une typologie évolutive. Toutes les interactions dans le système hybride d'aide à l'expertise ainsi qu'avec son environnement sont managées par un gestionnaire. Certaines règles proposées et structurées par la nouvelle classification ont déjà été intégrées dans l'outil e-Magim notamment toutes les règles de construction de modèle. Les autres seront contenus dans GRAIXpert.

Enfin, nous avons défini dans le chapitre 5, une Méthode de Résolution de Problèmes adaptée à la démarche des experts de la méthodologie GRAI dans le but de rendre plus efficace la phase de conception. Nous avons élaboré différents mécanismes de raisonnement qui pourront être utilisés en fonction de l'étude : les mécanismes CBR, de décomposition, de transformation. La méthode de résolution de problèmes proposée intègre tous ces mécanismes, et réalise le lien avec le processus de conception présenté au chapitre 3.

Nous avons illustré dans le chapitre 6 notre approche par un exemple montrant l'intégration des différents concepts développés tout au long de cette thèse. Cet exemple montre comment réaliser la conception d'un système décisionnel à l'aide de l'approche/outil proposé en suivant la démarche de la méthodologie GRAI (modélisation de l'existant, diagnostic des incohérences, conceptions préliminaire et détaillée). L'étude permet de conclure que la connaissance explicite acquise et celle de la connaissance tacite peuvent être utilisées de façon complémentaire dans le but de proposer une conception réaliste. L'exemple montre également, l'utilisation des différents mécanismes de raisonnement présentés dans le chapitre précédent, ainsi que celle des concepts théoriques introduits dans le chapitre trois.

L'originalité /contribution de cette thèse peuvent être résumés par les quatre points suivants :

- La richesse du processus de conception proposé à travers la modélisation de connaissances explicites (modèles de référence, règles) et implicites (anciennes études) qui facilitent la conception de systèmes de production de façon plus rapide et précise.
- La combinaison de plusieurs types de mécanismes de raisonnement conduisant à l'élaboration d'une méthode de résolution de problèmes, nécessaire pour développer un système hybride d'aide à la modélisation, au diagnostic et à la conception de systèmes de production (par exemple : l'utilisation de modèles de référence comme cas dans le CBR et de la connaissance des experts dans le raisonnement de transformation).
- L'élaboration d'une typologie de systèmes de production évolutive dans le but de définir un modèle de référence par classe de système de production.
- La proposition d'une classification de règles adaptées à la démarche de GIM et surtout l'élaboration de règles de conception pour faciliter le travail de concepteurs novices.

L'outil d'aide sera développé par GRAISOFT, l'entreprise de transfert de recherche qui travaille en collaboration avec le laboratoire LAP/GRAI.

Plusieurs perspectives s'ouvrent à la suite de ces travaux. Il apparaît notamment judicieux de se pencher plus en profondeur sur l'épineux problème de la classification des systèmes de production afin de proposer une classification plus élaborée pour élaborer de nouveaux modèles de référence. A terme, la connaissance tacite acquise (capitalisation) sera suffisamment importante (au delà d'une centaines de cas d'étude), il est donc judicieux de s'interroger sur son utilisation dans la conception.







## BIBLIOGRAPHIE



## A

[AAMODT, 1991] A. AAMODT. A knowledge-intensive, integrated approach to problem solving and sustained learning. Thèse de l'Université de Trondheim (Norvège), 1991.

[AAMODT, 1994] A. AAMODT 'Case-Based Reasoning : foundational issues, methodological variations, and system approaches'. Artificial Intelligence Communications, **7**, (1), 39-59, 1994.

[AFNOR, 1985] AFNOR 'La démarche productique pour l'entreprise'. Document de diffusion, 1985.

[AIP, 1988] Prototype AIP-SD 'Rapport Final du projet AIP'. SGN, 1988.

[AKIF, 1995] J. C. AKIF 'Outil informatique support d'aide à l'analyse de cohérence des Systèmes de Gestion de Production'. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1, 1995.

[ALCATEL, 1993] ALCATEL-ISR 'SPOKE Reference Manual'. Paris, 1993.

[ALTHOFF, 1989] K-D.ALTHOFF, 'Knowledge acquisition in the domain of CNC machine centres; the MOLTKE approach', In J. Boose, B. Gaines, J. G. Ganascia editors, EKAW'89, Third European Workshop on Knowledge-Based Systems, Paris, 180-195, 1989.

[ALTHOFF, 1995] K-D.ALTHOFF, E.AURIOL, R.BARLETTA, M.MANAGO, 'A Review of Industrial Case-Based Reasoning Tools'. Goodall, A., (Ed.), AI Intelligence, 1995.

[ARAG014, 1994] ARAGO 14, 'Logique Floue'. Observatoire Français des Techniques Avancées, Masson, Paris, 1994.

[ATLAN, 1986] H. ATLAN, 'A tort et raison', Paris : Edition du seuil, 1986.

[AUSSENAC, 1989] N.AUSSENAC, 'Conception d'une méthodologie et d'un outil d'acquisition de connaissances expertes'. Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, 1989.

[AYEL, 1987] M.AYEL, 'Détection d'incohérence dans les bases de connaissances : SACCO'. Thèse de doctorat d'état de l'Université de CHAMBERY, 1987.

## B

**[BAIN, 1986]** W.BAIN, 'Judge : A case-based reasoning system'. In A guide to Current research, Carbonell, J.G., Michalski, R.S., editors, Kluwer Academic publishers, 1-4, 1986.

**[BAREISS, 1989]** R.BAREISS, 'Exemplar-based knowledge acquisition: A unified approach to concept representation, classification, and learning'. Academic Press, Boston, 1989.

**[BARONI, 2001]** P.Baroni and al. 'GART : a tool for experimenting with approximate reasoning models' in the journal of Expert systems with applications, vol 21, Issue 1, P15-30, July 2001.

**[BEZDEK, 1992]** J.C.BEZDEK, 'Computing with uncertainty'. IEEE Trans. on Neural Networks, **3**, (5),1992.

**[BERNARAS, 1994]** A..Bernaras and al, 1994 Chapter 8 'Design' in CommonKADS Library for Expertise Modelling – Reusable Problem Solving Components, IOS Press.

**[BIENNIER, 1993]** F.BIENNIER, 'Neural Networks in Production Systems'. Rapport de l'INSA de LYON, Département Informatique,1993.

**[BIENNIER, 1995]** F.BIENNIER, 'Connexionisme : Principes et Eléments Théoriques'. Manuel de cours de l'INSA de Lyon, 1994.

**[BIGREL, 1992]** F. BIGREL, 'Science et Formation dans les activités physiques et sportives', Edition du CREPS Aquitaine, Ministère de la jeunesse et des sports, 1992.

**[BIGREL, 2001]** F.BIGREL, 'La performance : abrégé d'entraînement', Edition du CREPS Aquitaine, Ministère de la jeunesse et des sports, 2001.

**[BITTON, 1990]** M.BITTON, 'ECOGRAI : Méthode de conception et d'implantation de systèmes de mesure de performances pour organisation industrielles'. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1,1990.

**[BOUCHERON, 1992]** S.BOUCHERON Théorie de l'apprentissage, de l'approche formelle aux enjeux cognitifs. HERMES, Paris, 1992.

**[BOUCHON, 1993]** B.BOUCHON-MEUNIER, 'La Logique Floue'. Que Sais-Je ? (2702), P.U.F., Paris, 1993.

**[BOUDY, 1995]** D.BOUDY, P.DUVERLIE, B.HOURIEZ, J.M.CASTELAIN, 'Le raisonnement à partir de cas pour l'aide à la conception'. Revue d'Automatique et de Productique Appliquées, **8**, (2), 415-421,1995.

**[BOURY-BRISSET, 2000]** A.C. Boury-Brisset and al. 'knowledge capitalisation through case bases and knowledge engineering for road safety analysis in the journal of Knowledge-Based systems. Vol 13, Issue 5, P297-305, October 2000.

**[BOUZY, 2001]** B.Bouzy and al. 'Computer Go : an oriented survey' in the journal of Artificial Intelligence 132, P39-103, 2001 Elsevier science.

**[BOOCH, 1991]** B.BOOCH, 'Object Oriented Design'. Benjamin/Cummings, Redwood City, California,1991.

**[BRAHA, 1997]** D. BRAHA, O. MAIMON, 'The design process : properties, paradigms and structure', IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetics-part A, vol 27, n°2, pp146-166, 1997

**[BREUKER, 1989]** J.BREUKER, B.WIELINGA, 'Models of expertise in Knowledge Acquisition'. Topics in Expert System Design, Guida and Tasso editors, Elsevier Science Publishers,1989.

**[BROWN, 1985]** D.C. BROWN, B. CHANDRASEKARAN, 'Expert system for a class of mechanical design activities' Knowledge Engineering in computer Aided Design, Elsevier, Amsterdam, 1985.

**[BURKE, 2000]** E.K.Burke and al. 'Structured cases in case-based reasoning – reusing and adapting cases for time-tabling problems' in the journal of knowledge-based systems, vol 13, Issues 2-3, P159-165, April 2000.

## C

[**CAMI, 1980**] CAM.I, 'Architecture manual : ICAM definition method IDEF0'. CAM.I doc. n°DR-80-ATPC-01, 1980.

[**CAUX, 1994**] C.CAUX, H.PIERREVAL, M.C.PORTMANN, "Les algorithmes génétiques et leur application aux problèmes d'ordonnancement", Actes des Journées d'Etude du Groupement de Recherche Automatique, 5-45, 1994.

[**CARBONELL, 1986**] J.CARBONELL. 'Derivational Analogy; A theory of reconstructive problem solving and expertise acquisition'. In Michalski, R.S., Carbonell, J.G., Mitchell, T.M., (eds.). Machine Learning - An Artificial Intelligence Approach, II, Morgan Kaufmann, 371-392, 1986.

[**CASKEY, 2001**] K.R.Caskey 'A manufacturing problem solving environment combining evaluation, search, and generalisation methods' in the journal of Computer in Industry. Vol 44, Issue 2, P175-187, March 2001.

[**CAYROL, 1982**] M.CAYROL, H.FARRENCY, H.PRADE. 'Fuzzy pattern matching'. Kybernetes **11**, 103-116, 1982.

[**CHAN, 1999**] C.W.Chan and al. 'Representing user preference in engineering design domains using an enhanced weighted fuzzy reasoning algorithm' in the journal of Artificial Intelligence in engineering, vol 13, Issue 1, P1-10, January 1999.

[**CHANG, 2000**] H.C.CHANG and al. 'Indexing and retrieval in machining process planning using case-based reasoning' in the journal of Artificial Intelligence In Engineering, Vol 14, Issue 1, P1-13, January 2000.

[**CHARBONNAUD, 1991**] P.CHARBONNAUD. 'Aide au diagnostic curatif multimodèle et multiraisonnement'. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1, 1991.

[**CHAPURLAT, 2001**], V.Chapurlat, E. Lamine, J. Magnier, 'Modélisation et Analyse de processus d'entreprise : une démarche autre que la simulation' au congrès GI 2001, 12-15 Juin 2001 Aix - Marseille - France.

[**CHEN, 2001**] Chen D, Doumeingts G. "Towards a Formal understanding of design processes: Contribution to the development of a Theory of Design, In Proceedings of 8th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Juan-Les-Pins, 15-18 October, 2001.

[**CHEN, 2000**] D. Chen and G. Doumeingts - "A mathematical approach towards the theory of design", In ASI2000 annual conference, September 18-20, 2000, Bordeaux, France.

[**CHEN, 1988**] D.CHEN. 'Diagnostic des incohérences des systèmes de gestion de production assisté par ordinateur'. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1, 1988.

[**CHEN, 1996**] P.P.S.CHEN, P.P.S. 'The Entity/Relationship model: toward a unified view of data'. ACM Transactions on Data Base Systems, **1**, (1), 1996.

[**CHUN-HSIEN CHEN, 2000**] C.Chen and al. 'Knowledge decomposition for a product design blackboard expert system' in the journal of Artificial Intelligence in Engineering, Vol 14, Issue I, P71-82, January 2000.

[**CLOCKSIN, 1987**] W.F.CLOCKSIN, C.S.MELLISH. 'Programming in PROLOG'. Springer Verlag, 1987.

[**COAD, 1991**] Y.COAD, B.YOURDON. 'Analyse orientée objets'. Prentice Hall, New York, 1991.

[**CRIL, 1993**] CRIL. 'Spiral Reference Manual'. Paris, 1993.

[**CROALL, 1992**] I.F.CROALL, J.P.MASON. Industrial Applications of Neural Networks. Research Reports, ESPRIT Project 2092, ANNIE, **1**, Springer-Verlag, 1992.

## D

[**DAUBE, 1989**] F.DAUBE, B.HAYES-ROTH. "A case-based mechanical redesign system", in Proceedings of 11th IJCAI, Detroit, 1402-1407, 1989.

[**DAVIS, 1982**] R.DAVIS. TEIRESIAS : applications of meta-level knowledge. In Knowledge-based Systems in Artificial Intelligence, Davis, R., Lenat, D. (eds.), McGraw-Hill, New York, 1982.

**[DE CLERCQ, 2001]** P.A. de Clercq and al., 'The application of ontologies and problems solving methods for the development of sharable guidelines' in Artificial Intelligence in Medicine. Vol 22, Issue I, P 1-22, April 2001.

**[DE CLERCQ, 2001]** P.A. de Clercq and al. 'Design and implementation of a framework to support the development of clinical guidelines' in the International Journal of medical Informatics, Vol 64, Issues 2-3, P285-318, December 2001.

**[DE JONG, 1993]** K.DE JONG. Apprentissage à partir d'algorithmes génétiques. Dans [KODRATOFF 93b], 535-561, 1993.

**[DE KLEER, 1986]** J.DE KLEER. An Assumption-based TMS. Artificial Intelligence, Elsevier Science Publishers, 2, (28) 127-162, 1986.

**[DJERID, 1996]** L.DJERID. "Minimisation de la somme des retards pour le problème de base à une machine : une approche intégrante", dans les actes de AFI'96, "Automatique. Génie informatique. Image", 163-166, 1996.

**[DOUMEINGTS, 1983]** G.DOUMEINGTS, D.BREUIL, L.PUN. La Gestion de Production Assistée par Ordinateur, Hermès, Paris, 1983.

**[DOUMEINGTS, 1984]** G.DOUMEINGTS. Méthode GRAI, méthode de conception des systèmes en productique. Thèse de doctorat d'état, Université Bordeaux 1, 1984.

**[DOUMEINGTS, 1994]** G.DOUMEINGTS, F.MARCOTTE. Rapports d'analyse et de conception de l'étude GIAT. Rapport internes du groupe GRAI du LAP, 1994.

**[DOUMEINGTS, 1995]** G.DOUMEINGTS, S.KLEINHANS, N.MALHENE. "TIME GUIDE Methodology : supporting evolution management", IFIP WG5.7 Working Conference on Managing Concurrent Manufacturing to Improve Industrial Performance. Seattle, USA., 1995.

**[DOUMEINGTS, 2000]** G.DOUMEINGTS, Y.DUCQ, B.VALLESPIR, S.KLEINHANS. 'Production management and enterprise modelling' – Computer In Industry 42 (2000) 245-263, 2000.



**[DOSSOU, 2000]** P. Dossou, D. Chen, R. Bertin and G. Doumeingts - "Reasoning modelling for production systems design in a computer aided GRAI environment", In ASI2000 annual conference, September 18-20, 2000, Bordeaux, France.

**[DOSSOU, 2001]** P.E.Dossou, D.Chen, R.Bertin, G.Doumeingts,'Conception assistée du modèle décisionnel GRAI - Une approche de Formalisation du Processus de conception' au congrès GI 2001, 12-15 Juin 2001 Aix -Marseille - France.

**[DOSSOU, 2002]** P.E.Dossou, D.Chen, R.Bertin, G.Doumeingts, 'GRAIXPERT : a Software tool for the analysis and design of production systems' in CARS&FOF2002, 3-5 July, 2002, Porto, Portugal.

**[DOYLE, 1979]** DOYLE, J., (1979). A truth maintenance system. Artificial Intelligence, Elsevier Science Publishers, (12), 231-272.

**[DUBOIS, 1985]** DUBOIS, D., PRADE, H., (1985). Théorie des possibilités. Masson, Paris.

**[DUBOIS, 1988]** DUBOIS, D., PRADE, H., TESTEMALE, C., (1988). Weighted fuzzy pattern matching. Fuzzy Sets and Systems **28**, 1-19.

**[DURCOS, 1995]** DURCOS, S., (1995). Outils informatiques supports aux méthodes de modélisation et de conception de systèmes de production. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1.

## E

**[El EMAM, 2001]** K.El EMAM and al. 'Comparing case-based reasoning classifiers for predicting high risk software components' in the Journal of Systems and Software, vol 55, Issue 3, P301-320, 15 January 2001.

**[ER, 2000]** A.Er and al. 'A rule-based expert system approach to process selection for cast components' in the journal of Knowledge-based systems, vol 13, Issue 4, P225-234, 10 June 2000.

**[ERMINE, 1989]** ERMINE, J.L., (1989). Système expert : théorie et pratique. Lavoisier.

**[EYNARD & GIRARD, 1997]** EYNARD B., GIRARD P., CHEN. "Un modèle produit support à la conduite de processus de conception" Actes du 2<sup>ème</sup> congrès International franco-québécois de génie industriel, Albi, France, 1997

**[EYNARD, 1999]** B.Eynard. ' Modélisation du produit et des activités de conception. Contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie'

## F

**[FENIE, 1994]** FENIE, P., (1994). GRAICO : méthode de modélisation et de conception de systèmes d'exploitation de systèmes de production. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1.

**[FENG, 2001]** S.FENG and al. 'An objet-oriented intelligent design tool to aid the design of manufacturing systems' in the journal of Knowledge-based systems, vol 14, Issues 5-6, P225-232, August 2001.

**[FISHER, 1987]** FISHER, D., (1987). Knowledge acquisition via incremental conceptual clustering. Machine Learning, **2**, 139-172.

**[FLEXQUAR, 1992]** FLEXQUAR, (1992). FLEXQUAR Deliverable M12T11, Part 1, 2 and 3. ESPRIT 6408 Project.

**[FREUDON, 1987]** D.Freudon, H.Sureau, Y.Sureau (1987). Algèbre. Armand Colin –Collection U.

**[FRIEDRICH, 1999]** G.FRIEDRICH and al. 'Model-based diagnosis of hardware designs' in the journal of Artificial Intelligence 111 , P3-39, 1999.

## G

**[GALLOIS, 1989]** GALLOIS, P.M., BOURRIER, J., DE LOUVENCOURT, A., LOCHERER, C., (1989). "Typologie des entreprises industrielles", AFGI, commission "indicateurs de performance".

**[GAMBLE, 1999]** R.F.Gamble and al. 'Rule-based systems formalized within a software architectural style' in the journal Knowledge-based systems, vol 12, Issues 1-2, P13-26, April 1999.

**[GERO, 1990]** J.S. GERO, 'Design prototypes: a knowledge representation schema for design', AI Magazine, vol 11, n°4, pp26-36, 1990.

**[GOLDBERG, 1989]** GOLDBERG, D.E., (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing Company.

**[GRABOWSKI, 1995]** H. GRABOWSKI, R.S. LOSSACK, C.WEIS, "Supporting the design process by an integrated knowledge based design system", Advances in formal design methods for CAD-IFIP International Conference, Mexico, Mexique, 1995.

**[GRABOWSKI, 1999]** H. GRABOWSKI, R.S.LOSSACK, E. EL-MEJJBRI, "Towards a Universal design theory", Proc of the 1999 CIRP International Design Seminar, University of Twente, The Netherlands, 24-26 March 1999.

## H

**[HINTON, 1989]** HINTON, G.I., (1989). Les procédures d'apprentissage connexionnistes. Dans [KODRATOFF 93b], 471-523.

**[HAQUE, 2000]** B.U.HAQUE and al. 'Towards the application of case based reasoning to decision-making in concurrent product development (concurrent engineering)' in the journal of Knowledge-based systems , vol 13, Issues 2-3, P101-112, April 2000.

**[HAMMOND, 1989]** HAMMOND, K.J., (1989). Case-based planning. Academic Press.

**[HARMON, 1992]** HARMON, P., (1992). Case-based reasoning **III**. Intelligent Software Strategies, 7, (1).

**[HERBEAUX, 1999]** O.Herbeaux and al. 'ACCELERE : a case-based design assistant for closed cell rubber industry' in the journal of Knowledge-Based System, Vol 12, Issue 5-6, P231-238, October 1999.

**[HOLSAPPLE, 1993]** HOLSAPPLE, C.W., JACOB, V.S., PAKATH, R., ZAVERI, J., (1993). A Genetics-Based Hybrid Scheduler for Generating Static Schedules in Flexible Manufacturing Contexts. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, **23**, (4), 953-972.

**[HOPFIELD, 1982]** HOPFIELD, J.J., (1982). "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, **72**, 2554-2558.

**[HUBKA, 1988]** V. HUBKA, W.E. Eder, "Theory of technical systems ", Springer-Verlag, Berlin, 1988.

**[HURTUBISE]** R. Hurtubise 'L'Intelligence Artificielle du Manager. Outillage de réalisation et cas d'application'  
Edition Agence d'Arc. OM 8101 K.

## I

**[IMPACS, 1990]** IMPACS, (1990). Milestones 1&2 deliverables, ESPRIT 2338 project.

**[IMPACS, 1991]** IMPACS, (1991). Milestones 3&4 deliverables, ESPRIT 2338 project.

**[IMPACS, 1992]** IMPACS, (1992). Milestones 5&6 deliverables, ESPRIT 2338 project.

**[ILOG, 1995]** ILOG, (1995). ILOG RULES Reference Manual Version 3.0.

**[IVERGEN, 1984]** IVERGEN, T., (1984). Un outil d'évaluation technico-économiques des ateliers flexibles : nécessité et proposition. Thèse de doctorat de troisième cycle, Université Bordeaux 1.

**[IVEZIC, 1992]** IVEZIC, N., GARRETT, J., (1992). NETSYN-A Connectionist Approach to Synthesis Knowledge Acquisition and Use. Technical report , Purdue University.

## J

**[JIN, 1998]** J.Q.Jin and al. 'A method for the acquisition of users requirements in discrete manufacturing cell systems' in the journal of Computer Integrated Manufacturing Systems, vol 11, N°3, P229-242,1998.

## K

**[KAUFMANN, 1973]** KAUFMANN, A., (1973). Introduction à la Théorie des Sous-Ensembles Flous. Masson, Paris.

**[KEANE, 2001]** A.J.Keane and al. 'Problem Solving environment in aerospace design' in the journal of Advances in engineering software, vol 32, Issue 6, P477-487, June 2001.

**[KEDAR-KABELLI, 1988]** KEDAR-KABELLI, S., (1988). Analogy - from a unified perspective. In HELMAN, D.H. (ed.), Analogical Reasoning, Kluwer Academic, 65-103.

**[KETATA, 2000]** C.Ketata and al. 'Development of expert systems for stream sampling in mineral processing plants' in the journal of Artificial Intelligence in Engineering, vol14, Issue 2, P191-197, April 2000.

**[KHRISS, 2000]** I.Khriss and al. 'Pattern-based schemas for design knowledge transfer' in the journal Knowledge-based systems , vol 13, Issue 6, P403-415, 1 November 2000.

**[KODRATOFF, 1993a]** KODRATOFF, Y., MICHALSKI, R.S., CARBONELL, J.G., MITCHELL, T.M., (1993). Apprentissage Symbolique, une approche de l'intelligence artificielle. TOME I, CEPADUES, Toulouse.

**[KODRATOFF, 1993b]** KODRATOFF, Y., MICHALSKI, R.S., CARBONELL, J.G., MITCHELL, T.M., (1993). Apprentissage Symbolique, une approche de l'intelligence artificielle. TOME II, CEPADUES, Toulouse.

**[KOIVO, 1994]** KOIVO, H.N., (1994). Artificial Neural Networks in Fault Diagnosis and Control. Control Eng. Practice, **2**, (1), 89-91.

**[KOLODNER, 1983]** KOLODNER, J., (1983). Maintaining organization in a dynamic long-term memory. Cognitive Science, **7**, 243-280.

**[KOLODNER, 1985]** KOLODNER, J.L., (1984). Using experience in clinical problem solving. Technical Report git-ics-85/21, School of Information and Computer Science. Computer Science, Georgia Institut of Technology.

**[KOLODNER, 1988]** KOLODNER, J.L., (1988). "Extending problem solver capabilities through case-based inference", In Proceedings of the case-based reasoning workshop, Morgan Kaufman.

**[KOLODNER, 1991a]** KOLODNER, J., (1991). Case-Based Reasoning and Learning. Introduction to CBR methods. School of Information and Computer Science, Georgia Institute of Technology, Atlanta.

**[KOLODNER, 1991b]** KOLODNER, J., HINRISHS, T., (1991). "The Role of Adaptation in Case-Based Design", in Proc. of AAAI-91.

**[KOLODNER, 1993]** KOLODNER, J., (1993). Case-based reasoning. Morgan Kaufmann.

**[KOTON, 1988]** KOTON, P., (1988). "Reasoning about Evidence in Causal Explanation", in Proceedings of AAAI'88, 256-261.

**[KOTON, 1989]** KOTON, P., (1992). Using experience in learning and problem solving. Massachusetts Institute of Technology, Laboratory of Computer Science. Ph.D. Dissertation, MIT/LCS/TR-441.

**[KUNTZMANN, 1988]** KUNTZMANN, A., VOGEL, C., (1988). "KOD : a support environment for cognitive acquisition and management", Safety and Reliability Symposium.

## L

**[LARRECHEA, 1995]** LARRECHEA, M., (1995). Méthodologie de Modélisation des Connaissances dans le Domaine du Diagnostic Technique. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1.

**[LAPERROUSAZ, 1986]** LAPERROUSAZ, P., (1986). "Systèmes de gestion de production, faites le bon choix", Dossier de l'usine nouvelle.

**[LECOMPTE, 1999]** T. Lecompte, J.P. Bourrieres, " Un modèle linéaire de production discrète, calcul de besoin et de charge par pseudo-inversion". Actes des journées doctorales d'Automatiques, GdR Automatique, pp 325-328, Nancy 21-23 septembre 1999.

**[LECOMPTE-ALIX, 2001]** T.Lecompte-Alix 'Un cadre formel de décision pour la planification multi-niveau des systèmes de production réticulaires' Thèse de doctorat d'automatique et productique Université Bordeaux I, 14 décembre 2001.

**[LE MOIGNE, 1984]** LE MOIGNE, J.L., (1984). La théorie du système général. Théorie de la modélisation, Presse Universitaire de France, Paris.

**[LE BEUX & FONTAINE, 1986]** P. LE BEUX D. FONTAINE, 'Un système d'acquisition des connaissances pour systèmes experts', TSI vol 5 n°1, (1986)

**[LE BEUX, 1987]** P.LE BEUX, D. FONTAINE, 'Un système interactif pour le maintien de la cohérence d'une base de connaissances', PRC GRECO-IA, Saint Laurent Nouan (1991).

**[LEWKOWICZ, 2002]** M. Lewkowicz and al. 'A structured groupware for a collective decision-making aid' in the European journal of Operational research, vol 136, Issue 2, P333-339, 16 January 2002.

**[LIN, 1994]** LIN, B.R., (1994). Neural networks and fuzzy logic in power electronics. Control Eng. Practice, 2, (1), 113-121.

**[LOPEZ, 1993]** LOPEZ, B., PLAZA, E., (1993). "Case-based planning for medical diagnosis", in Proc. of the 7th International Symposium, Methodologies for intelligent Systems, ISMIS'93, 96-105.

## M

[**MANAGO, 1993**] MANAGO, M., ALTHOFF, K.D., TRAPHÖNER, R., (1993). "Induction and reasoning from cases", in ECML - European Conference on Machine Learning, Workshop on Intelligent Learning Architectures, Vienna.

[**MARCOTTE, 1994**] MARCOTTE, F., DOUMEINGTS, G., (1994). Règles de dysfonctionnement dans la méthode GRAI et Manuel de cours de la méthode GRAI. Rapports internes du groupe GRAI du LAP.

[**MARCOTTE, 1995**] MARCOTTE, F., (1995). Contribution à la modélisation des systèmes de production : extension du modèle GRAI. Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux 1.

[**McCALLA, 1998**] J.McCALLA 'La résolution de problèmes, une méthode générale' sur <http://206.47.141.220/~jmc/resprob.htm>, June 1998.

[**MERLE, 1990**] MERLE, C., (1990). L'évaluation des projets productiques : contribution conceptuelle et méthodologique. Thèse de doctorat de l'Université Montpellier 1.

[**MESAROVIC, 1970**] MESAROVIC, M.D., MACKO, D., TAKAHARA, Y., (1970). Theory of hierarchical, multilevel systems. Academic Press, New York.

[**MENAGE, 1993**] MENAGE, X., HARTANI, R., (1993). Synthèse des méthodes d'association des techniques neuronales et des techniques floues. Rapport interne de recherche, LAFORIA.

[**MICHALSKI, 1984**] MICHALSKI, R., CARBONELL, J., MITCHELL, T., (1984). Machine Learning : An Artificial Intelligence Approach. **1**, Morgan Kaufmann, Los Altos.

[**MICHALSKI, 1986**] MICHALSKI, R., CARBONELL, J., MITCHELL, T. (1986). Machine Learning : An Artificial Intelligence Approach. **2**, Morgan Kaufmann, Los Altos.

[**MICHALSKI, 1990**] MICHALSKI, R., ZEMANKOVA, M., (1990). What is Generalization? An Inquiry into the Concept of Generalization and its Types. Reports of Machine Learning and Inference Laboratory, George-Mason University, MLI90-7.



**[MINTZBERG, 1990]** MINTZBERG, H., (1990). Le management - voyage au centre des organisations. Paris.

**[MINSKY, 1975]** MINSKY, M., (1975). A Framework for Representing Knowledge. In readings in knowledge representation, Morgan kaufmann.

**[MOLES, 1990]** A. MOLES, 'Les sciences de l'imprécis', Paris : édition du seuil, 1990.

**[MOUDDEN, 1991]** MOUDDEN, A., (1991). Etude du module d'analyse de la méthode GRAI : utilisation des modèles de référence. Rapport de DEA de l'Université Bordeaux I.

**[MOUDDEN, 1994a]** MOUDDEN, A., (1994). Manuel Technique de PROGRAI. Rapport interne, LAP/GRAI.

**[MOUDDEN, 1994b]** MOUDDEN, A., BERTIN, R., DOUMEINGTS, G., (1994). "An Integrated Computer Tool based on Rules and Neuro-Fuzzy Networks to Detect and Correct Production Management Inconsistencies", Second European Congress on Intelligent Techniques and Soft computing, EUFIT'94, Aachen, Germany, 951-957.

**[MOUDDEN, 1995]** MOUDDEN, A., BERTIN, R., DOUMEINGTS, G., (1995). "A Decision Support Software Architecture for Analysis and Design of Production Management Systems", Proc. Second International Workshop on Learning in Intelligent Manufacturing Systems LIMS'95, Budapest (Hongrie), 115-130.

**[MOUDDEN, 1997]** 'GIMXpert et GIMCase. Une méthode et des outils pour concevoir les systèmes de production' Thèse de Doctorat, Productique - Université Bordeaux I, Octobre 1997

**[MULLER, 1990]** MULLER, B., REINHARDT, J., (1990). Neural Networks. Springer-Verlag, Berlin.

## N

**[NAUCK, 1992]** NAUCK, D., KLAWONN, F., KRUSE, R., (1992). Fuzzy Sets, Fuzzy Controllers, and Neural Networks. Journal scientifique de l'Université de Berlin, **41**, (4),99-120.

**[NAUCK, 1993]** NAUCK, D., KRAUSE, R., (1993). "A Fuzzy Neural Network Learning Fuzzy Control Rules and Membership Functions by Fuzzy Error Backpropagation", Conf. Int. Neural Networks, ICNN'93, San Francisco, 1022-1027.

**[NAUCK, 1994]** NAUCK, D., KRUSE, R., (1994). "Choosing Appropriate Neuro-Fuzzy Models", in Proc. of the Second European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, EUFIT'94, Aachen, Germany, 552-557.

**[NOH, 2000]** J.B.NOH and al. 'A case-based reasoning approach to cognitive map-driven tacit knowledge management in the journal of Expert systems with applications, vol 19, Issue 4, P249-259, November 2000.

## O

**[OCS, 1989]** OPEN CAM SYSTEM, (1989). Dynamic manufacturing management and control. projet ESPRIT 418, Public Domain Report, part I.

## P

**[PARASKEVAS, 1999]** P.A.PARASKEVAS and al. 'An advanced integrated expert system for wastewater treatment plants control' in the journal of Knowledge-based systems, vol 12, Issue 7, P355-361, November 1999.

**[PARCY, 1982]** PARCY, J.P., (1982). Un système expert en diagnostic sur réacteurs à neutrons rapides. Thèse de doctorat de l'Université d'Aix-Marseille.

**[PIPARD, 1988]** PIPARD, E., (1988). "Détection d'incohérences et d'incomplétudes dans les bases de règles : le système INDE-Un système interactif pour le maintien de la cohérence d'une base de règles", AVIGNON'88, EC2, session 29, Avignon, France.

**[PLANT, 1999]** R. PLANT and al. ' Special issue on verification and validation' in the journal of Knowledge-based systems, vol 12, Issues 1-2, P1-2, April 1999.

**[PORTER, 1986]** PORTER, B., BAREISS, R., (1986). "PROTOS : An experiment in knowledge acquisition for heuristic classification tasks", in Proc. of the First International Meeting on Advances in Learning (IMAL), Les Arcs, France, 159-179.

**[PORTER, 1990]** PORTER, B., BAREISS, R., HOLTE, R., (1990). Concept learning and heuristic classification in weak theory domains. *Artificial Intelligence*, **45**, (1-2), 229-263.

**[PUN, 1977]** PUN L. 'Approche méthodologique de modélisation en vue de la maîtrise assistée de la production' Congrès AFCET- Modélisation et maîtrise des systèmes techniques-économiques-sociaux, Versailles, France, 1977.

**[PUN, 1987]** PUN, L., (1987). "Situational modelling of knowledge and reasoning", in Proceedings of the second CAD Conference, Intelligent Manufacturing Technologies, Dubrovnic, Yougoslavia.

**[PUN, 1988]** PUN, L., ROBOAM, M., (1988). Utility of design methodology for advanced Manufacturing Systems. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 1988.

## R

**[RAO, 2000]** M. RAO, X. SUN, J. FENG. "Intelligent System Architecture for process Operation Support", *Journal of Expert System with Applications*, vol19, Issue 4, November 2000, P279-P288.

**[REDMOND, 1989]** REDMOND, M., (1989). "Learning from Others Experience : Creating cases from Examples", Proceedings of the 7th Annual Conference of the Cognitive Science Society, Ann Arbor.

**[REZAYAT, 2000]** M.REZAYAT 'Some aspects of product and development in the 21<sup>st</sup> century. Part I' in the journal of Computer –aided Design , vol 32 , Issue 2, P83, 1 February 2000.

**[ROBOAM, 1988]** ROBOAM, M, (1988). Modèles de référence et Intégration des méthodes d'analyse pour la conception des systèmes de production. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1.

**[ROSENMAN, 2001]** M.ROSENMAN and al. 'Conceptual modelling in design' in the journal of *Artificial Intelligence in engineering*, Vol 15, Issue 2, P81-82, April 2001.

[ROSS, 1985] ROSS, D.T., (1985). Applications and extentions of SADT. Computer.

[ROSS, 1989] ROSS, B.H., (1989). "Some psychological results on case-based reasoning", Case-Based Reasoning Workshop, DARPA 1989, Pensacola Beach, Morgan kaufmann, 144-147.

[ROUSSET, 1988] ROUSSET, M.C., (1988). Sur la cohérence et la validation des bases de connaissances : le système COVADIS. Thèse de docteur d'état de l'Université de Paris-Sud, Centre d'ORSAY.

[RUMBAUGH, 1991] RUMBAUGH, J., BLAHA, M., PREMERLANI, W., EDDY, F., LORENSEN, W., (1991). Object Oriented Modeling and Design. Prentice-Hall International.

[RUMELHART, 1986] RUMELHART, D., HINTON, G., WILLIAMS, R., (1986). Learning internal representation by back-propagating errors. Nature, (323), 533 -536.

## S

[SAVI, 1994] V. M. SAVI, 'Conception préliminaire des systèmes de production à l'aide des réseaux de Petri : évaluation des performances', thèse de doctorat de l'université de Metz, Mai 1994.

[SCHANK, 1982] SCHANK, R., (1982). Dynamic memory; a theory of reminding and learning in computers and people. Cambridge University Press.

[SCHANK, 1986] SCHANK, R., COLLINS, G.C., HUNTER, L.E., (1996). Transcending inductive category formation in learning. The Behavioral and Brain Sciences, **9**, 639-686.

[SANCHEZ, 1991] SANCHEZ, E., (1991). Logique floue et réseaux neuronaux en intelligence artificielle et reconnaissance des formes. Science Technique Technologie, **19**, 29-34.

[SCHMOLZE, 1999] J. G. SCHMOLZE and al. 'Detecting redundancy among production rules using term rewrite semantics' in the journal Knowledge-based systems, vol 12, Issues 1-2, P3-11, April 1999.

**[SHI-JIE CHEN, 2001]** S.CHEN and al. 'Knowledge-based support for simulation analysis of manufacturing cells' in Computer in Industry 44 , P33-49, 2001.

**[SIMON, 1960]** H.A.SIMON 'The new science of management decision', Prentice-hall, Englewood Cliffs, USA, 1960; traduction française par Francine ARDITI sous le titre : Le nouveau management: la décision par les ordinateurs, Economica, Paris, 1980.

**[SIMON, 1969]** H.A.SIMON. 'La science des systèmes, science de l'artificiel'. (traduit de l'anglais par J.L. LE MOIGNE). Massachusetts Institute of Technology, 1969.

**[SIMPSON, 1985]** SIMPSON, R.L., (1985). A computer model of case-based reasoning in problem solving : An investigation in the domain of dispute mediation. Technical Report GIT-ICS-85/18, Georgia Institute of Technology.

**[SIMPSON, 1992]** P.K.SIMPSON. 'Fuzzy min-max neural networks' – Part 1 : classification. IEEE Transactions on Neural Networks, **3**, (5), 776-786, 1992.

**[SOENEN, 2000]** R. SOENEN, . 'Les enjeux de la capitalisation des connaissances et de la coopération dans la compétitivité des entreprises' PROSPER, Journées de Toulouse, 7-8 Juin 2000.

**[STACEY, 1999]** K.Stacey and al. 'Learning the algebraic Method of Solving Problems' in the journal of Mathematical behavior, vol 18, P149-167, February 1999.

**[STEHOUWER, 1996]** STEHOUWER, H.P., AARTS, E.H.L., WESSELS, J., (1996). "Learning to detect planning horizons with multi-layered perceptrons: a case study for lot-sizing in rolling-schedule environment", in Proc. of the Ninth International Working Seminar on Production Economics, Innsbruck, Austria, 31-49.

**[STUDER, 1998]** R.Studer and al. 'Knowledge Engineering : Principles and methods' in the journal of Data and Knowledge engineering 25, P161-197, 1998, Elsevier science.

**[SU, 1998]** D.SU and al. 'Intelligent hybrid system for integration in design and manufacture' in the Journal of Materials Processing Technology, vol 76, Issues 1-3, P23-28, April 1998.

**[SUH, 1990]** SUH, N. P. The Principles of Design. Edition Oxford University Press, 1990.

[SUWA, 1982] M.SUWA, A.SCOTT and H.SHORTLIFFE, "An approach to verify completeness and consistency in RBS", The AI Magazine, (1982)

[SYCARA, 1988] SYCARA, K., (1988). "Using case-based reasoning for plan adaptation and repair", in Proceedings Case-Based Reasoning Workshop, DARPA, Clearwater Beach, Florida, Morgan Kaufman, 425-434.

[SYCARA, 1993] SYCARA, K., NAVIN-CHANDRA, D., (1993). "Case representation and indexing for innovative design reuse", in Proc. of the IJCAI'93 workshop on reuse of designs-an interdisciplinary approach, Chambery, France.

## T

[TAKEDA, 1990] H. TAKEDA, T.TOMIYAMA, H.YOSHIKAWA, "Modelling design processes, AL Magazine, vol. 11, n°4, pp37-48, 1990.

[TAKEDA, 1992] H. TAKEDA, T.TOMIYAMA, H.YOSHIKAWA 'A logical and computable framework for reasoning in design', Proc. Of design theory and methodology Conference, DE-vol.42, ASME, 1992.

[TAUZIET, 1992] TAUZIET, J., (1992). Rapport de conception de l'étude Hispano-Suiza. AUGRAI.

[THAYSE, 1991] THAYSE, A., (1991). Approche logique de l'intelligence artificielle, de l'apprentissage artificiel aux frontières de l'IA. 4, DUNOD, Paris.

[THOME, 1989] THOME, F., (1989). Un système pour l'audit et l'aide à la conception des organisations de gestion de production. Thèse de doctorat de l'Université de Savoie.

[TICHKIEWICH, 1996] S.Tichkiewich, "Specifications on integrated design methodology using a multi-view product model", Engineering System Design and Analysis Conference-ASME'96, Montpellier, France, 1996.

[TICHKIEWICH, 1999] S.Tichkiewich, L. Roucoules, 'Methodology for innovative design', CIRP International Seminar, University of Twente, The Netherlands, 24-26 March 1999.

**[TIME-TOOL, 1995]** TIME TOOL, (1995). TIME TOOL Basic Product Deliverable. EUREKA 1124 Project.

**[TIME-TOOL, 1997]** TIME TOOL, (1997). TIME TOOL Advanced Product Deliverable. EUREKA 1124 Project.

**[TIRAKIS, 1990]** TIRAKIS, A., SUKISSIAN, L., KOLLIAS, S., (1990). "An adaptative technique for segmentation and classification of textured images", in Proc. of INNOC'90, Kluwer Academic Publishers, 31-34.

**[TOMIYAMA, 1995]** Tomiyama. A design process model that unifies General Design Theory and Empirical Findings. In Design Engineering Technical Conferences, ASME, Vol. 2. 1995.

**[TREUR, 1989]** J. TREUR, 'A Logical Analysis of Design Tasks for Expert System' in International Journal of expert systems p233-253 Volume 2, number 2, 1989, ISSN 0894-9077.

**[TRICHET, 1998]** TRICHET, 'DSTM : un environnement de modélisation et d'opérationnalisation de la démarche de résolution de problèmes d'un système à base de connaissances' Thèse de doctorat d'informatique, 26 Novembre 1998, Institut de Recherche en Informatique de Nantes, Université de Nantes.

**[TSATSOULIS, 1993]** TSATSOULIS, C., KASHYAP, R.L., (1993). Case-Based Reasoning and Learning in Manufacturing with the TOLTEC Planner. IEEE Trans. Syst. Man. Cybern., **23**, (4), 1010-1023.

## V

**[VALERY, 1974]** P. VALERY, Cahiers. Paris: coll La pléiade, Ed Gallimard, 1974.

**[VALLESPER, 1987]** VALLESPER, B., (1987). Exploitation des systèmes de production discrets continus : contribution à une méthode de conception. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1.

**[VALLESPER, 1992]** VALLESPER, B., (1992). Problem statement of reference models in manufacturing systems. In TIME Technical Annexe, EUREKA Project EU824.

[VALLESPER, 1993] VALLESPER, B., MOUDDEN, A., CHEN, D., DOUMEINGTS, G., (1993). "Learning systems and connexionist approaches in manufacturing", CIMMOD, Patras (Grèce).

[VERCAUTEREN, 1990] VERCAUTEREN, L., SIEBEN, G., PRAET, M., OTTE, G., VINGERHOEDS, R., BOULLART, L., CALLIAUW, L., ROELS, H., (1990). "The classification of brain tumors by topological map", in Proc. of INNC'90, Kluwer Academic Publishers, 387-391.

[VICO, 1999] F.J.Vico and al. 'Automatic design synthesis with intelligences techniques' in the journal of Artificial Intelligence in Engineering, vol 13, Issue 3, P251-256, July 1999.

[VOGEL, 1988] C. Vogel, 'Génie Cognitif', Masson, 1988.

## W

[WAGNER, 1988] WAGNER, J.L., (1988). Utilisation des modèles de référence dans l'activité de conception des systèmes de gestion de production : synthèse et perspectives d'évolution. Rapport de DEA de l'Université Bordeaux I.

[WATANABE, 1993] WATANABE, T., TOKUMARU, H., HASHIMOTO, Y., (1993). Job-Shop Scheduling using Neural Networks. Control Eng. Practice, 1, (6), 957-961.

[WATSON, 1999] I.Watson. 'Case-based reasoning is a methodology not a technology' in the journal of Knowledge-based systems, vol 12, Issues 5-6, P303-308, October 1999.

[WELSTEAD 1994] WELSTEAD, S.T., (1994). Neural Networks and Fuzzy Logic Applications in C/C++. John Wiley & Sons, New York.

[WEN, 1999] F.Wen and al. 'A new method for diagnostic problem solving based on a fuzzy abductive inference model and the tabu search approach' in the journal of Artificial Intelligence in Engineering. Vol 13, Issue I, P83-90, January 1999.

[WILLIAMS 1994] T.J.Williams "The Purdue Enterprise Reference Architecture, in Computers in Industries."

Volume 24, Elsevier, september 1994.



**[WORTMANN, 1992]** WORTMANN, J.C., "Factory Of the Future : Towards an integrated theory for one-of-kind production", in "One-of-a-Kind Production : New Approaches", by HIRSCH, B.E., THOBEN, K.D., IFIP Conference proceedings, North-Holland editor.

## X

**[XIA, 1999]** Q.Xia and al. 'Knowledge architecture and system design for intelligent operation support systems' in the journal Expert Systems with applications, vol 17, Issue 2, P115-127, August 1999.

## Y

**[YAHIA, 2000]** Yahia ME, Mahmod R, Sulaiman N and Ahmad F. 'Rough neural expert system', 'Journal of Expert System with Application' vol 18, issue 2, Februry 2000.

**[YOSHIKAWA, 1981]** Yoshikawa, H. General Design Theory and a CAD system. In Man-Machine communication in CAD/CAM, T.Sata, E. Warman (editors), North-Holland Publishing Company, 1981.

**[YOSHIKAWA, 1988]** YOSHIKAWA, H., (1988). Introduction to general design theory. Intelligent Manufacturing Systems I, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

## Z

**[ZADEH, 1965]** ZADEH, L.A., (1965). Fuzzy sets. Information and Control, **8**, 338-353.

**[ZADEH, 1973]** ZADEH, L.A., (1973). Outline of new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Trans. Syst. Man Cybern., **3**, 28-44.

**[ZADEH, 1978]** ZADEH, L.A., (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. Fuzzy Sets and Systems **1**, 3-28.

**[ZANETTIN, 1994]** ZANETTIN, M., (1994). Contribution à une méthode de conception de systèmes de production. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux 1.

**[ZOLGHADRI, 1994]** ZOLGHADRI, M., MOUDDEN, A., BOURRIERES, J.P., DOUMEINGTS, G., (1994). "A Multi-agent approach in Modelling and Simulating Decisional Flows in Advanced Manufacturing Systems

**[ZUO BING CHEN, 2001]** Z.B.Chen and al. 'An Object-oriented intelligent CAD system for ceramic kiln' in the journal of Knowledge-based systems, vol 14, Issues 5-6, P263-270, August 2001.

ANNEXE I

Règles de Modélisation, Diagnostic et  
Conception



## Règles de Construction de Modèles

### Formalisme Grille GRAI

CMG1	<b>Si</b>	Un cadre de décision émis par un centre de décision CD (i) est reçu par ce même centre de décision
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Un cadre de décision émis par un centre de décision ne peut être reçu par ce même centre
CMG2	<b>Si</b>	Un cadre de décision est émis par un centre de décision de la fonction 'informations externes' vers un centre de la fonction 'informations internes'
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Un cadre de décision ne peut être émis d'une pseudo-fonction vers une autre
CMG3	<b>Si</b>	La fonction 'informations Externes' est dans une colonne j autre que la colonne 2
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! La fonction 'informations externes' est placée exclusivement en colonne 2
CMG4	<b>Si</b>	Un cadre de décision est émis par un centre de la fonction 'informations internes' vers une centre de la fonction 'informations externes'
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Un cadre de décision ne peut être émis d'une pseudo-fonction à une autre
CMG5	<b>Si</b>	La fonction 'informations internes' est dans une colonne j autre que la dernière colonne
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! La fonction 'informations internes' est placée exclusivement en dernière colonne
CMG6	<b>Si</b>	Une grille ne contient pas la fonction 'gérer les produits'
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! La fonction 'gérer les produits' ne peut être absente de la grille GRAI
CMG7	<b>Si</b>	Une grille ne contient pas la fonction 'gérer les ressources'
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! La fonction 'gérer les ressources' ne peut être absente de la grille GRAI
CMG8	<b>Si</b>	Une grille ne contient pas la fonction 'planifier'
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! La fonction 'planifier' ne peut être absente de la grille GRAI
CMG9	<b>Si</b>	Les périodes des niveaux décisionnels ne sont pas classées par ordre décroissant
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Les périodes des niveaux décisionnels ne peuvent être classées dans un ordre autre que décroissant

CMG10	<b>Si</b>	Une grille comporte moins de trois niveaux décisionnels
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Les niveaux décisionnels ne peuvent être moins de trois dans une grille GRAI
CMG11	<b>Si</b>	Un niveau décisionnel est placé en dehors de la première colonne
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Un niveau décisionnel ne peut être placé que dans la première colonne
CMG12	<b>Si</b>	Une grille possède une fonction 'informations internes'
	<b>Et</b>	Une autre fonction 'informations internes' est créée
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Une grille GRAI ne peut contenir qu'une seule fonction 'informations internes'
CMG13	<b>Si</b>	Une grille possède une fonction 'informations externes'
	<b>Et</b>	Une autre fonction 'informations externes' est créée
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Une grille GRAI ne peut contenir qu'une seule fonction 'informations externes'
CMG14	<b>Si</b>	Les fonctions et les niveaux d'une grille GRA sont bien définis
	<b>Et</b>	Centre de décision est ajouté à la grille
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Les centres de décision n'ont d'existence qu'à travers les niveaux décisionnels et les fonctions
CMG15	<b>Si</b>	Une fonction est caractérisée par son nom
	<b>Et</b>	Ce nom ne contient pas de verbe à l'infinitif
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Le nom d'une fonction ne peut être caractérisé que par un verbe à l'infinitif
CMG16	<b>Si</b>	Un centre de décision est caractérisé par son nom
	<b>Et</b>	Un autre centre de décision est caractérisé par le même nom
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Le nom d'un centre de décision est unique dans une grille GRAI
CMG18	<b>Si</b>	Une case d'entête est définie
	<b>Et</b>	Un réseau GRAI y est associé
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Un réseau GRAI ne peut être associé à une case d'entête
CMG19	<b>Si</b>	Un centre d'information est défini
	<b>Et</b>	Un réseau GRAI y est associé
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Un réseau GRAI ne peut être associé à un centre d'information

CMG20	<b>Si</b>	Une case d'entête est définie
	<b>Et</b>	Un actigramme de modélisation du système physique y est associé
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Un actigramme ne peut être associé à une case d'entête

CMG21	<b>Si</b>	Un centre d'information est défini
	<b>Et</b>	Un actigramme de modélisation du système physique y est associé
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Un actigramme ne peut être associé à un centre d'information

### Formalisme Actigramme étendu

CMAE1	<b>Si</b>	Un flux $f_i$ est émis par une activité étendue $A_i$
	<b>Et</b>	Ce flux est reçu par la même activité
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Un flux ne peut être produit et consommé par la même activité étendue

CMAE2	<b>Si</b>	Un flux d'information ou de produit est directement relié à un autre flux
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! La destination d'un flux ne peut être un flux

### Formalisme Réseau GRAI

CMRG1	<b>Si</b>	Une activité de décision est directement reliée à une autre activité
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Une activité de décision ne peut être reliée qu'à un support d'information ou à un opérateur logique

CMRG2	<b>Si</b>	Une activité d'exécution est directement reliée à une autre activité
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Une activité d'exécution ne peut être reliée qu'à un support d'information ou à un opérateur logique

CMRG3	<b>Si</b>	Un cadre de décision est émis par un centre de décision $CD_i$ vers un centre de décision $CD_j$
	<b>Et</b>	Et aucune information de suivi n'existent, provenant du réseau associé à $CD_j$ vers celui associé à $CD_i$
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Le réseau associé à $CD_i$ ne peut que recevoir des informations de suivi du réseau associé à $CD_j$

### Formalisme diagramme de classes

CMDC1	<b>Si</b>	Une classe est directement reliée à une autre classe
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Une classe ne peut être liée à une autre qu'à travers une relation

CMDC2	<b>Si</b>	Une relation est directement liée à une autre relation
	<b>Alors</b>	Erreur de syntaxe ! Une relation ne peut relier que deux classes entre elles

### Règles de Vérification de Modèles

#### Règles de vérification de modèles pour un diagramme et le formalisme 'Grille GRAI'

VMDG1	<b>Si</b>	Une fonction $F_i$ ne contient aucun centre de décision
	<b>Alors</b>	défaut de modélisation ! la fonction $F_i$ n'existe que s'il elle contient au moins un centre de décision

#### Règles de vérification de modèles pour un diagramme et le formalisme 'Réseau GRAI'

VMDRG1	<b>Si</b>	Dans un réseau GRA il existe un support $S_i$ dont l'origine n'est pas spécifiée
	<b>Alors</b>	Défaut de modélisation ! L'origine du support $S_i$ n'est pas spécifiée

#### Règles de vérification de modèles pour un diagramme et le formalisme 'Actigramme'

VMDA1	<b>Si</b>	Dans un actigramme il existe une activité $A_i$ qui ne produit aucune sortie
	<b>Alors</b>	Défaut de modélisation ! Aucune sortie n'est spécifiée pour l'activité $A_i$

#### Règles de vérification de modèles pour un diagramme et le formalisme 'Actigramme étendu'

VMDAE1	<b>Si</b>	Dans un actigramme étendu, il existe une activité étendue $AE_i$ qui n'a aucun flux en entrée
	<b>Alors</b>	défaut de modélisation ! Aucun flux d'entrée n'est donné pour l'activité étendue $AE_i$

#### Règles de vérification de modèles pour un diagramme et le formalisme 'Diagramme de classes'

VMDDC1	<b>Si</b>	Dans un diagramme de classe il existe une classe $C_i$ qui n'est reliée à aucune relation
	<b>Alors</b>	Défaut de modélisation ! Aucune relation n'est associée à la classe $C_i$

#### Règles de vérification de modèles pour une vue et le formalisme 'Grille GRAI'

VMVG1	<b>Si</b>	Les fonctions principales d'une grille de pilotage ne sont pas contenues dans la grille de coordination
	<b>Alors</b>	Il y a dysfonctionnement : Les fonctions principales de la grille de pilotage doivent être contenues dans la grille de coordination



**Règles de vérification de modèles pour une vue et le formalisme 'Réseau GRAI'**

VMVRG1	<b>Si</b>	Une activité de décision $A_{di}$ d'un réseau $R_i$ envoie des informations vers un réseau $R_j$
	<b>Et</b>	Ces informations ne se trouvent en entrée ni en support d'aucune activité $A_{dj}$ du réseau $R_j$
	<b>Alors</b>	<b>Il y a incohérence de modèles !</b> aucune information envoyée par l'activité $A_{di}$ du réseau $R_i$ ne se trouve dans le réseau $R_j$

**Règles de vérification de modèles pour une vue et le formalisme 'Actigramme'**

VMVA1	<b>Si</b>	Un flux d'entrée $f_i$ d'une activité $A_i$ d'un actigramme n'apparaît pas en entrée d'au moins une activité $A_{ij}$ d'un des actigrammes fils
	<b>Alors</b>	<b>Il y a incohérence de modèles !</b> Aucune activité $A_{ij}$ des actigrammes fils n'a en entrée le flux $f_i$

**Règles de vérification de modèles pour une vue et le formalisme 'Actigramme étendu'**

VMVAE1	<b>Si</b>	Un flux de contrôle $c_i$ d'une activité étendue d'un actigramme étendu $AE_i$ n'apparaît pas en contrôle pour une activité étendue $AE_{ij}$ d'un actigramme étendu fils
	<b>Alors</b>	<b>Il y a incohérence de modélisation!</b> Aucune activité étendue $AE_{ij}$ des actigrammes étendus fils n'a en contrôle le flux $c_i$

**Règles de vérification de modèles pour une vue et le formalisme 'Diagramme de classes'**

VMVDC1	<b>Si</b>	Dans un diagramme de classe $D_{ei}$ une classe $C_i$ est liée à une relation $R_j$ d'un diagramme de classe $C_j$
	<b>Et</b>	Dans le diagramme de classe $D_j$ la relation $R_j$ n'est pas liée à la classe $C_i$
	<b>Alors</b>	<b>Il y a incohérence de modélisation !</b> La relation $R_j$ n'est pas liée à la classe $C_i$ dans le diagramme de classe $D_j$

**Règles de Vérification de Systèmes**

**Règles de vérification de systèmes pour un diagramme et pour le formalisme 'Grille GRAI'**

VSDG1	<b>Si</b>	Il existe un centre de décision $CD_i$ recevant deux cadres de décision provenant de deux centres de décision différents $CD_j$ et $CD_k$
	<b>Et</b>	Les centres de décision $CD_j$ et $CD_k$ ne reçoivent pas chacun des cadres de décision coordonnés par un autre centre de décision $CD_m$
	<b>Alors</b>	<b>Il y a dysfonctionnement</b> <b>Il y a un risque de conflits dans la prise de décision du centre de décision <math>CD_i</math></b>

VSDG2	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Programme Directeur de Production' n'existe pas
	<b>Et</b>	Le cycle de production (approvisionnement + fabrication) est supérieur à 6 mois
	<b>Alors</b>	Il y a incohérence du système de pilotage ! Il y a défaut de planification

VSDG3	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Planification des Besoins' existe
	<b>Et</b>	Le centre de décision 'Programme Directeur de Production' existe
	<b>Et</b>	il n'existe pas de cadre de décision entre les deux centres de décision
	<b>Alors</b>	Il y a incohérence du système de pilotage! Les ordres et informations établis par le centre de décision 'Programme Directeur de Production' ne sont pas reçus par le centre de décision 'Planification des Besoins'

### **Règles de vérification de systèmes pour un diagramme et le formalisme 'Réseau GRAI'**

VSDR1	<b>Si</b>	Dans un réseau R une activité n'émet aucun support résultat vers d'autres activités du même réseau
	<b>Et</b>	Cette activité n'émet aucun support résultat vers une activité d'un autre réseau
	<b>Alors</b>	Il y a incohérence du système de pilotage ! Chaque activité du réseau R n'émet pas au moins un support résultat vers d'autres activités

VSDR2	<b>Si</b>	Dans un réseau R associé au centre de décision PDP, il n'y a aucune activité de planification grossière
	<b>Alors</b>	Il y a incohérence du système de pilotage! Une activité de planification grossière ne peut être absente du réseau associé au PDP

### **Règles de vérification de systèmes pour un diagramme et le formalisme 'Actigramme'**

VSDA1	<b>Si</b>	Dans un actigramme, une activité A <sub>i</sub> n'émet aucun flux de sortie vers une autre activité
	<b>Alors</b>	Il y a incohérence dans l'organisation du système physique! Chaque activité A <sub>i</sub> de l'actigramme n'émet pas au moins un flux de sortie

### **Règles de vérification de systèmes pour un diagramme et le formalisme 'Actigramme étendu'**

VSDAE1	<b>Si</b>	Dans un actigramme, une activité étendue AE <sub>i</sub> n'émet aucun flux de sortie vers une autre activité étendue
	<b>Alors</b>	Il y a incohérence du processus! Chaque activité étendue de l'actigramme étendu n'émet pas au moins un flux de sortie vers une autre activité étendue

### **Règles de vérification de systèmes pour un diagramme et le formalisme 'Diagramme de classes'**

VSDDC1	<b>Si</b>	Une relation n'est pas connectée à au moins deux classes distinctes ou non par un lien de cardinalité
	<b>Alors</b>	Il y a incohérence du système informationnel! Une relation ne relie que deux classes distinctes ou non par un lien de cardinalité, entre elles

**Règles de vérification de systèmes pour un modèle et le formalisme 'Grille GRAI'**

VSVG1	Si	Une grille de pilotage ne comporte pas au moins une des fonctions définies dans la grille de coordination
	Alors	Il y a incohérence du système de pilotage! La grille de pilotage n'est pas coordonnée

**Règles de vérification de systèmes pour un modèle et le formalisme 'Réseau GRAI'**

VSVR1	Si	Un réseau $R_i$ présente un support d'information produit par une activité
	Et	Un autre réseau $R_j$ présente le même support d'information utilisé par une de ses activités
	Et	Chaque réseau ne présente pas de symbole de communication associé à ce support d'information précisant son origine et sa destination
	Alors	Il y a incohérence du système de pilotage! Le support d'information présent dans les deux réseaux ne présente pas de symbole de communication

VSVR2	Si	Un réseau $R_i$ n'émet aucun support résultat vers d'autres réseaux
	Alors	Il y a incohérence car tout réseau doit émettre au moins un résultat vers un autre réseau!

**Règles de vérification de systèmes pour un modèle et le formalisme 'Actigramme'**

VSPA1	Si	Un flux d'entrée d'une activité $A_i$ d'un actigramme n'apparaît pas en entrée de l'actigramme fils de cette activité a
	Alors	Il y a incohérence dans l'organisation du système physique! Les flux disponibles en entrée de l'activité $A_i$ ne sont pas tous traités dans l'actigramme fils de cette activité

**Règles de vérification de systèmes pour un modèle et le formalisme 'Actigramme étendu'**

VMVAE1	Si	Un flux de contrôle d'une activité étendue $AE_i$ d'un actigramme n'apparaît pas en contrôle d'une activité de l'actigramme fils de $AE_i$
	Alors	Il y a incohérence du processus! Les contrôles effectués pour la réalisation de l'activité étendue $AE_i$ ne sont pas utilisés pour les activités de l'actigramme fils

**Règles de vérification de systèmes pour un ensemble de modèles**

VMEM1	Si	Il existe un cadre de décision allant d'un centre de décision $CD(i)$ vers un centre de décision $CD(j)$
	Et	Les informations de suivi provenant du réseau de $CD(j)$ vers le réseau de $CD(i)$ n'existent pas
	Alors	Il y a incohérence

VMEM2	Si	Le cycle de l'activité physique modélisée est supérieur à l'horizon du centre de décision pilotant
	Alors	Il y a incohérence : l'horizon du centre de décision pilotant doit être supérieur au cycle de l'activité physique pilotée

Règles de Conception

**Règles générales de gestion de production pour le formalisme 'Grille GRAI'**

GCGPG1	<b>Si</b>	Dans une grille GRAI, un niveau décisionnel est tel que : $H_n \leq 4 P_n$
	<b>Alors</b>	Choisir l'horizon $H_n$ tel que $H_n = 4 P_n$
GCGPG2	<b>Si</b>	Dans une grille GRAI, un niveau décisionnel n'a pas un horizon H multiple de sa période P
	<b>Alors</b>	Compléter la dernière période de remise en cause des décision pour l'horizon H telle que H soit multiple de P
GCGPG3	<b>Si</b>	Dans une grille GRAI l'horizon $H_n$ du niveau décisionnel n est inférieur au cycle maximum des activités pilotées par le niveau n : on ne dispose pas de suffisamment de temps pour prendre les décisions
	<b>Alors</b>	Choisir $H_n$ tel qu'il soit égal au cycle maximum des activités pilotées par le niveau n
GCGPG4	<b>Si</b>	Il existe un centre de décision ne recevant pas de cadre de décision d'un niveau décisionnel supérieur ou d'un même niveau décisionnel
	<b>Et</b>	Ce centre de décision ne reçoit, ni n'émet aucun flux informationnel
	<b>Et</b>	Ce centre de décision n'émet aucun cadre de décision
	<b>Alors</b>	Ce centre de décision doit être supprimé !
GCGPG5	<b>Si</b>	Il existe un centre de décision ne recevant pas de cadre de décision d'un niveau décisionnel supérieur ou d'un même niveau décisionnel
	<b>Et</b>	Ce centre de décision émet au moins un cadre de décision vers un autre centre de décision de niveau décisionnel inférieur ou égal
	<b>Alors</b>	Créer pour ce centre de décision un cadre de décision provenant d'un centre de décision de niveau supérieur ou égal
GCGPG6	<b>Si</b>	Il existe un centre de décision ne recevant pas de cadre de décision d'un niveau décisionnel supérieur ou d'un même niveau décisionnel
	<b>Et</b>	Ce centre de décision reçoit ou émet un flux informationnel
	<b>Alors</b>	Créer pour ce centre de décision un cadre de décision provenant d'un centre de décision de niveau supérieur ou égal
GCGPG7	<b>Si</b>	Il existe un centre de décision n'émettant pas de cadre de décision
	<b>Et</b>	Ce centre de décision ne reçoit aucun cadre de décision
	<b>Et</b>	Ce centre de décision ne reçoit ni n'émet aucun flux informationnel
	<b>Alors</b>	Ce centre de décision doit être supprimé !
GCGPG8	<b>Si</b>	Il existe un centre de décision n'émettant pas de cadre de décision
	<b>Et</b>	Ce centre de décision reçoit un cadre de décision du même niveau ou d'un niveau supérieur
	<b>Alors</b>	Créer pour ce centre de décision un cadre de décision allant vers un centre de décision de niveau inférieur ou de même niveau

GCGPG9	<b>Si</b>	Il existe un centre de décision n'émettant pas de cadre de décision
	<b>Et</b>	Ce centre de décision reçoit ou émet un flux informationnel
	<b>Alors</b>	Créer pour ce centre de décision un cadre de décision allant vers un centre de décision de niveau inférieur ou du même niveau
GCGPG10	<b>Si</b>	Il existe un centre de décision recevant un cadre de décision provenant d'un niveau inférieur
	<b>Alors</b>	Supprimer le cadre de décision
GCGPG11	<b>Si</b>	Un centre de décision ne reçoit ni cadre de décision ni flux d'information
	<b>Alors</b>	Supprimer ce cadre décision
GCGPG12	<b>Si</b>	Il existe un cadre de décision allant de la fonction 'Gérer les Produits' à la fonction 'Planifier'
	<b>Et</b>	La flexibilité du système de pilotage est importante
	<b>Alors</b>	Supprimer ce cadre de décision
GCGPG13	<b>Si</b>	Il existe un cadre de décision allant de la fonction 'Gérer les Produits' à la fonction 'Planifier'
	<b>Et</b>	Le pilotage du système ne doit pas être contraint par la disponibilité des produits
	<b>Alors</b>	Supprimer ce cadre de décision
GCGPG14	<b>Si</b>	Il existe un centre de décision allant de la fonction 'Gérer les Produits' à la fonction 'Planifier'
	<b>Et</b>	La flexibilité du pilotage du système n'est pas importante
	<b>Et</b>	La contrainte par la disponibilité des produits du pilotage du système est tolérée
	<b>Alors</b>	Attention ! le système décisionnel manque de flexibilité et son pilotage est contraint par la disponibilité des produits
GCGPG15	<b>Si</b>	Le nombre de niveaux d'une grille GRAI est supérieur à 6
	<b>Alors</b>	Supprimer un (des) niveau(x) de la grille : la grille GRAI ne doit pas contenir plus de 6 niveaux décisionnels
GCGPG16	<b>Si</b>	Il existe un cadre de décision allant de la fonction 'Gérer les Ressources' à la fonction 'Planifier'
	<b>Et</b>	La flexibilité du pilotage du système est importante
	<b>Alors</b>	Supprimer ce cadre de décision
GCGPG17	<b>Si</b>	Il existe un cadre de décision allant de la fonction 'Gérer les Ressources' à la fonction 'Planifier'
	<b>Et</b>	Le pilotage du système ne doit pas être contraint par la disponibilité des ressources
	<b>Alors</b>	Supprimer ce cadre de décision
GCGPG18	<b>Si</b>	Il existe un cadre de décision allant de la fonction 'Gérer les Ressources' à la fonction 'Planifier'
	<b>Et</b>	La flexibilité du pilotage du système n'est pas importante
	<b>Et</b>	La contrainte par la disponibilité des ressources du pilotage du système est tolérée
	<b>Alors</b>	Attention ! le système manque de flexibilité et son pilotage est contraint par la disponibilité des ressources
GCGPG19	<b>Si</b>	Une fonction F ne contient aucun centre de décision
	<b>Et</b>	F n'est pas une des trois fonctions de base de la grille GRAI (GP, PL, GR)
	<b>Alors</b>	Supprimer cette fonction

GCGPG20	Si	Un niveau décisionnel n ne contient aucun centre de décision
	Alors	Supprimer le niveau décisionnel n
GCGPG21	Si	La période $P_n < P_{n-1}$ (niveau n pilotant, niveau n-1 piloté)
	Alors	Il faut modifier les valeurs de $P_n$ et $P_{n-1}$ de façon à avoir $P_n > P_{n-1}$
GCGPG22	Si	$H_{n-1} < 2 * P_n$ (niveau n pilotant et niveau n-1 piloté)
	Alors	Augmenter $H_{n-1}$ de façon à obtenir $H_{n-1} = 2 * P_n$
GCGPG23	Si	Un cadre de décision ne contient pas au moins un objectif
	Et	Ce cadre de décision ne contient pas au moins une variable de décision
	Et	Ce cadre de décision ne contient pas au moins un indicateur de performance
	Et	Ce cadre de décision ne contient pas au moins une contrainte
	Alors	Créer pour ce cadre de décision au moins un des attributs du quadruplet (objectif, variables de décision, indicateurs de performance, contraintes) !
GCGPG24	Si	Il existe un centre de décision (CD) recevant au moins deux cadres de décision provenant de deux (plusieurs) centres de décision différents
	Et	Ces centres de décision ne sont pas coordonnés par un autre centre de décision
	Alors	transformer le cadre de décision jugé le moins important en flux informationnel !

### Règles générales de gestion de production pour le formalisme 'Réseau GRAI'

GCGPR1	Si	Il existe un cadre de décision allant d'un centre de décision CD(i) vers un centre de décision CD(j)
	Et	Des informations de suivi provenant du réseau associé à CD(j) et allant vers le réseau associé à CD(i) n'existent pas
	Alors	Créer des informations de suivi allant du réseau associé à CD(j) vers le réseau associé à CD(i)
GCGPR2	Si	Le réseau associé à un centre de décision ne comporte aucune information de suivi provenant du centre de décision piloté
	Alors	Créer des informations de suivi provenant du centre de décision piloté vers le centre de décision pilotant
GCGPR3	Si	Un centre de décision émet un cadre de décision vers un autre centre de décision
	Et	Le réseau associé ne contient aucune activité de décision
	Alors	Créer au moins une activité de décision pour ce centre de décision
GCGPR4	Si	Le réseau associé à un centre de décision identifié ne possède pas d'activité de décision
	Et	Ce centre de décision n'émet aucun cadre de décision vers un autre centre de décision
	Alors	Supprimer ce centre de décision et le réseau associé
GCGPR5	Si	Une activité de décision dans un réseau ne possède pas de supports de types critères, objectifs, contraintes et variables de décision
	Alors	Créer pour cette activité au moins un support de types critères, objectifs, contraintes ou variables de décision

GCGPR6	Si	Dans un réseau GRAI un enchaînement d'activités forme un circuit
	Et	L'exécution de toutes les activités du circuit nécessite obligatoirement un support produit par une activité appartenant au circuit
	Alors	Modifier ce réseau de façon à supprimer le circuit

GCGPR7	Si	Un réseau R n'émet aucun support résultat vers d'autres réseaux
	Alors	Créer pour ce réseau un support résultat qui sera émis vers au moins un autre réseau

### **Règles générales de gestion de production pour le formalisme 'Actigramme'**

GCGPA1	Si	Un flux (entrée, sortie, contrôle ou mécanisme) est manquant
	Alors	Il faut créer ce flux !

GCGPA2	Si	Une activité A <sub>i</sub> ne produit pas de flux de sortie
	Et	Cette activité ne possède aucun autre flux
	Alors	L'activité A <sub>i</sub> doit être supprimée !

GCGPA3	Si	Une activité A <sub>i</sub> n'utilise aucun mécanisme
	Et	Cette activité ne possède aucun autre flux
	Alors	L'activité A <sub>i</sub> doit être supprimée !

GCGPA4	Si	Une activité A <sub>i</sub> n'utilise aucun mécanisme
	Et	Cette activité possède un flux d'entrée
	Alors	Créer un mécanisme pour l'activité A <sub>i</sub> !

GCGPA5	Si	Une activité A <sub>i</sub> n'utilise aucun mécanisme
	Et	Cette activité possède un flux de contrôle
	Alors	Créer un mécanisme pour l'activité A <sub>i</sub> !

GCGPA6	Si	Une activité A <sub>i</sub> n'utilise aucun mécanisme
	Et	Cette activité possède un flux de sortie
	Alors	Créer un mécanisme pour l'activité A <sub>i</sub> !

GCGPA7	Si	Une activité A d'un actigramme dans un diagramme de la vue physique possède un flux de contrôle C
	Et	Et C n'apparaît pas dans le diagramme du centre de décision qui pilote cet actigramme
	Alors	Créer le flux de contrôle C dans le diagramme du système pilotant

**Règles de conception dépendant de la classification des systèmes de production**

**Règles pour les systèmes de type MRP (classe 1 : production manufacturière, et répétitivité de la production petites et moyennes séries)**

CC1SP1	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Programme directeur de production' n'existe pas dans la fonction planification
	<b>Alors</b>	Créer un centre de décision 'Programme directeur de la production' dont l'horizon correspondra au cycle de production
CC1SP2	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Programme Directeur de Production' existe dans une grille GRAI
	<b>Et</b>	Le niveau de prise de décision a un horizon H strictement inférieur au cycle de production
	<b>Alors</b>	Augmenter l'horizon du centre de décision 'Programme Directeur de Production de façon à obtenir H = cycle de production
CC1SP3	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Programme Directeur de Production' existe
	<b>Et</b>	Le centre de décision 'Programme Directeur de Production ne reçoit pas des informations sur les prévisions commerciales
	<b>Alors</b>	Créer des informations sur les prévisions commerciales dans le centre de décision 'Programme Directeur de Production'
CC1SP4	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Programme Directeur de Production' existe
	<b>Et</b>	Le centre de décision 'Programme Directeur de Production' ne reçoit pas des informations sur le carnet de commandes
	<b>Alors</b>	Créer des information sur le carnet de commande dans le centre de décision 'Programme Directeur de Production'
CC1SP5	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Programme Directeur de Production' existe
	<b>Et</b>	Le centre de décision 'Programme Directeur de Production' ne reçoit pas des informations sur le niveau de stocks pour les articles
	<b>Alors</b>	Créer des informations sur le niveau des stocks pour les articles dans le centre de décision 'Programme Directeur de Production'
CC1SP6	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Programme Directeur de Production' existe
	<b>Et</b>	Le centre de décision 'Programme Directeur de Production' ne reçoit pas des informations sur les charges agrégées
	<b>Alors</b>	Créer des informations sur les charges agrégées dans le centre de décision 'Programme Directeur de Production'
CCSP7	<b>Si</b>	Dans une grille GRAI le centre de décision 'Planification des Besoins' n'existe pas
	<b>Alors</b>	Créer un centre de décision 'Planification des Besoins'



CCSP8	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Planification des Besoins' existe
	<b>Et</b>	Le niveau de prise de décision correspondant à un horizon H inférieur (au cycle de production)
	<b>Alors</b>	Choisir l'horizon du niveau décisionnel auquel le centre de décision 'Planification des Besoins' appartient tel que H = cycle de production

GCSP9	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Planification des Besoins' existe
	<b>Et</b>	Le niveau de prise de décision correspondant à un horizon H au moins égal au cycle de production
	<b>Et</b>	Le centre de décision ne reçoit pas des informations sur le carnet de commandes
	<b>Alors</b>	Créer dans ce centre de décision 'Planification des Besoins' des informations sur le carnet de commandes

CCSP10	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Planification des Besoins' existe
	<b>Et</b>	Le niveau de prise de décision correspondant a un horizon H au moins égal au cycle de production
	<b>Et</b>	Le centre de décision 'Planification des Besoins' ne reçoit pas des informations sur le niveau de stocks
	<b>Alors</b>	Créer dans le centre de décision 'Planification des Besoins' des informations sur le niveau des stocks !

CCSP11	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Planification des Besoins' existe
	<b>Et</b>	Le niveau de prise de décision correspondant a un horizon H au moins égal au cycle de production
	<b>Et</b>	Le centre de décision 'Planification des Besoins' ne reçoit pas des informations sur les charges
	<b>Alors</b>	Créer dans le centre de décision 'Planification des Besoins' des informations sur les charges !

CCSP12	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Planification des Besoins' existe
	<b>Et</b>	Le centre de décision 'Programme Directeur de Production' existe
	<b>Et</b>	Il n'existe pas de cadre de décision provenant du centre de décision 'Programme Directeur de Production' vers le centre de décision 'Planification des Besoins'
	<b>Alors</b>	Créer un cadre de décision provenant du centre de décision 'Programme Directeur de Production et allant au centre de décision 'Planification des Besoins' !

CCSP13	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Coordination Atelier' n'existe pas
	<b>Alors</b>	La gestion court terme des cellules de production n'est pas assurée : créer un centre de décision 'Coordination Atelier' pour coordonner les ateliers

CCSP14	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Coordination Atelier' existe
	<b>Et</b>	Le niveau de prise de décision correspondant a un horizon H différent du plus grand des cycles élémentaires de fabrication
	<b>Alors</b>	Créer pour le niveau décisionnel du centre de décision 'Coordination Atelier' un horizon H égal au plus grand des cycles élémentaires de fabrication

CCSP15	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Coordination Atelier' existe
	<b>Et</b>	Le niveau de prise de décision correspondant a un horizon H égal au plus grand des cycles élémentaires de fabrication
	<b>Et</b>	Le centre de décision ne reçoit pas des informations sur les commandes
	<b>Alors</b>	Créer dans le centre de décision 'Coordination Atelier' des informations sur les commandes !

CCSP16	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Planification des Besoins' existe
	<b>Et</b>	Le centre de décision 'Coordination Atelier' existe
	<b>Et</b>	Il n'existe pas de cadre de décision entre le centre de décision 'Planification des Besoins' et le centre de décision 'Coordination Atelier'
	<b>Alors</b>	Créer un cadre de décision allant du centre de décision 'Planification des Besoins' vers le centre de décision 'Coordination des Atelier' !
CCSP17	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Pilotage des Activités de Production' n'existe pas
	<b>Alors</b>	La planification à très court terme n'est pas assurée : créer un centre de décision 'Pilotage des Activités de Production' pour piloter les activités de production
CCSP18	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Pilotage des Activités de Production'
	<b>Et</b>	Le niveau de prise de décision correspondant a un horizon H différent de la plus grande des phases élémentaires de fabrication
	<b>Alors</b>	Choisir pour le centre de décision 'Coordination des Activités de Production' un horizon H égal à la plus grande des phases élémentaires de fabrication
CCSP19	<b>Si</b>	Le centre de décision 'Pilotage des Activités de Production' existe
	<b>Et</b>	Le centre de décision 'Coordination Atelier' existe
	<b>Et</b>	Il n'existe pas de cadre de décision allant du centre de décision 'Coordination Atelier' vers le centre de décision 'Pilotage des Activités de Production'
	<b>Alors</b>	Créer un cadre de décision allant du centre de décision 'Coordination Atelier' vers le centre de décision 'Pilotage des Activités de Production'!

## ANNEXE 2



## Rappel sur les matrices

Dans ce résumé,  $K$  est un corps commutatif [FREUDON 1987],  $n, p, q, r$  des éléments de l'ensemble  $\mathbb{N}^*$  des entiers naturels privé de 0.  $E$  et  $F$  sont respectivement des  $K$  - espaces vectoriels de dimension  $n$  et  $p$ .

### Matrice et application linéaire

Une matrice  $A$  à  $p$  lignes et  $n$  colonnes dans un corps  $K$  est une famille de  $np$  éléments de  $K$ . On note :

$$A = (a_{ij})_{(i,j) \in \{1, \dots, p\} \times \{1, \dots, n\}} = (a_{ij}).$$

On présente  $A$  sous forme de tableau,  $a_{ij}$  est l'élément du tableau situé sur la ligne  $i$  et la colonne  $j$ .  $A$  est dite de dimension  $(p,n)$ . L'ensemble de toutes ces matrices est noté  $M_{p,n}(K)$ .

Si  $p = n$ , alors il est noté  $M_n(K)$  et appelé ensemble matrices carrées d'ordre  $n$ .

Soit  $B = \{e_j / 1 \leq j \leq n\}$  une base de  $E$ ,  $C = \{f_i / 1 \leq i \leq p\}$  et  $u$  une application linéaire de  $E$  dans  $F$ .  $u$  est déterminée par la donnée :

$$u(e_j) = \sum_{i=1}^p a_{ij} f_i \text{ pour } 1 \leq j \leq n$$

c'est-à-dire par la matrice  $A=(a_{ij})$  dont les composantes des vecteurs colonnes sont les composantes de  $u(e_j)$  dans la base  $C$ .

$A = M_{BC}(u)$  est la matrice de  $u$  dans les bases  $B$  et  $C$ .

Soit  $A$  un élément de  $M_n(K)$ .  $\forall (i, j) \in \{1, \dots, n\}^2$

- le mineur de  $a_{ij}$  est le déterminant de la matrice  $A_{ij}$  obtenue à partir de  $A$  en supprimant la ligne  $i$  et la colonne  $j$ .
- le cofacteur  $C_{ij}$  de  $a_{ij}$  est :  $(-1)^{i+j} \det A_{ij}$
- la comatrice  $\text{com}(A)$  de  $A$  est la matrice des cofacteurs de  $A$ .

Nous obtenons le théorème suivant :

$$\det A = \sum_{i=1}^n (-1)^{i+j} a_{ij} \det A_{ij} = \sum_{j=1}^n (-1)^{i+j} a_{ij} \det A_{ij}$$

$$A \text{ 'com}(A) = \text{'com}(A) A = (\det A)I.$$

$$\text{Si } \det A \neq 0, A^{-1} = (1/\det A) * \text{'com}(A).$$

On appelle vecteur propre de u tout élément X de E tel qu'il existe un élément  $\lambda$  de K vérifiant :

$$U(X) = \lambda X \quad (1)$$

Un élément  $\lambda$  de K s'appelle une valeur propre de u s'il existe un élément X non nul de E vérifiant (1). L'ensemble des valeurs propres de u se nomme le spectre de u et se note SP u.

A tout vecteur propre, X, non nul de u correspond une et une seule valeur propre de u dite valeur propre associée à X.

A toute valeur propre  $\lambda$  de u correspond un sous espace vectoriel  $V(\lambda)$  de E, constitué des vecteurs propres admettant  $\lambda$  pour valeur propre : c'est le sous-espace propre associé à  $\lambda$ . Il est non nul et stable par u. En notant Id le vecteur identité de E, on a :

$\lambda$  valeur propre de u  $\Leftrightarrow$  u -  $\lambda$  Id non injectif.

Si u admet plusieurs valeurs propres, pour toute famille  $\{\lambda_1, \dots, \lambda_s\}$  de s valeurs propres distinctes de u, on a :

$$\bigcap_{i=1}^s V(\lambda_i) = \{0\} \text{ si } s \geq 2$$

et toute famille  $(X_i)_{i \in \{1, \dots, s\}}$  de vecteurs propres non nuls tels que  $\lambda_i$  soit associée à  $X_i$  est libre.

## Inversion de matrice non carrées

Le principe de l'inversion de matrices non carrées introduit le concept de pseudo-inverse. Il existe plusieurs méthodes pour le calcul de la pseudo-inverse dont celle présentée ici : la méthode de Gorla [GORLA, 1984].

Si la matrice  $A$  est de plein rang : ( $\text{rang}A = \min(p,n)$ ) alors  $A^+$  s'obtient par :

- $A^+ = (A^T A)^{-1} A^T$  si  $p > n$
- $A^+ = A^T (A A^T)^{-1}$  si  $p < n$

Si la matrice  $A$  n'est pas de plein rang ( $\text{rang}A < \min(p,n)$ ) nous la partitionnons.

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \text{ avec } \text{rang}(A_{11}) = \text{rang}(A)$$

posons  $A_1 = \begin{bmatrix} A_{11} \\ A_{21} \end{bmatrix}$  et  $A_2 = [A_{12} \quad A_{22}]$  on a  $A^+ = A_2^T * (A_1^T * A_1 * A_2^T)^{-1} * A_1^T$

Pour un système linéaire d'équations à  $n$  inconnues  $Y = A X$  où  $X$  est un vecteur d'inconnues ( $\dim X = n \times 1$ ),  $Y$  est un vecteur connu ( $\dim Y = p \times 1$ ) et  $\dim A = p \times n$ .

La solution générale de ce système est  $X = A^+ Y + (Id - A^+ A)Z$  où  $Z$  est un vecteur arbitraire.

Dans le cas où  $Z = 0$  nous avons  $X = A^+ Y$ . C'est le cas que nous retrouvons dans les concepts présentés pour le processus de conception (chapitre 4).

Nous présentons des exemples pour illustrer les différentes possibilités présentées dans cette annexe.

## Exemple d'inversion de matrices non carrées

### Exemple 1 : cas où $p < n$

Soit un système d'équations linéaires tel que  $Y = AX$  avec  $Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}$  et  $X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$ . La matrice  $A$  est

égale à :

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

La matrice A est de plein rang. Nous pouvons donc appliquer la formule :

$$A^+ = A^T * (A * A^T)^{-1}$$

Elle permet de trouver la pseudo-inverse qui nous conduira à la solution du système d'équation.

La transposée de la matrice A nous donne :

$$A^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Le résultat du calcul du produit matriciel  $AA^T$  est une matrice carrée d'ordre trois :

$$AA^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 2 \end{bmatrix}$$

Cette matrice est inversible si son déterminant est différent de 0. Le déterminant de  $AA^T$  est égal à :  
 $\det(AA^T) = (8+2+2) - (4+4+2) = 2$

Nous pouvons donc calculer son inverse.

La comatrice associée à  $AA^T$  est :

$$com(AA^T) = \begin{bmatrix} 4 & 0 & -2 \\ 0 & 1 & -1 \\ -2 & -1 & 3 \end{bmatrix}$$

Nous déduisons la matrice inverse de  $AA^T$  :



$$(AA^T)^{-1} = 0.5 * \begin{bmatrix} 4 & 0 & -2 \\ 0 & 1 & -1 \\ -2 & -1 & 3 \end{bmatrix}$$

La pseudo-inverse est alors égale à :

$$A^+ = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0.5 & -0.5 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & -0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

Pour un vecteur  $Y = \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \\ 2 \end{bmatrix}$  on obtient un vecteur solution  $X = A^+ Y = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.5 \\ 1 \\ -0.5 \end{bmatrix}$ .

Ce vecteur correspond effectivement à une solution du système d'équation :

$$\begin{array}{l} -1- \\ 3- \\ 2- \end{array} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

## Exemple 2 : cas où $p > n$

Soit un système d'équations linéaires tel que  $Y = BX$  avec  $X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$  et  $Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix}$ . La matrice B est

égale à :

$$B = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ 2 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

La matrice B est de plein rang. Nous pouvons donc appliquer la formule :

$$B^+ = (B^T B)^{-1} B^T$$

Le calcul de la pseudo-inverse nous conduira à la solution du système d'équation.

La transposée de la matrice B nous donne :

$$B^T = \begin{bmatrix} -1 & 2 & 3 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

Le résultat du calcul du produit matriciel  $B^T B$  est une matrice carrée d'ordre trois :

$$B^T B = \begin{bmatrix} 14 & 6 & 0 \\ 6 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 4 \end{bmatrix}$$

Cette matrice est inversible si son déterminant est différent de 0. Le déterminant de  $B^T B$  est égal à :

$$\det(B^T B) = 168 - 144 = 24$$

Nous pouvons donc calculer son inverse.

La comatrice associée à  $B^T B$  est :

$$\text{com}(B^T B) = \begin{bmatrix} 12 & -24 & 0 \\ -24 & 56 & 0 \\ 0 & 0 & 6 \end{bmatrix}$$

Nous obtenons :

$$(B^T B)^{-1} = \begin{bmatrix} 1/2 & -1 & 0 \\ -1 & 7/3 & 0 \\ 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix}$$

La pseudo-inverse est donc :

$$B^+ = \begin{bmatrix} 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 4/3 & 1/3 & -2/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 \end{bmatrix}$$

Elle peut être utilisée pour déterminer la solution du système d'équation  $Y=BX$ . Cette solution est  $X=B^+Y$ .

$$\text{Pour } Y = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ on obtient } X = \begin{bmatrix} -1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ -4/3 & 1/3 & -2/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 1/2 \end{bmatrix}$$

$$\text{C'est-à-dire } X = \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 1/2 \end{bmatrix}$$

Ces concepts permettent d'inverser des matrices non carrées. Nous pouvons ainsi associer la matrice inversée à la transformation d'analyse correspondant à un homomorphisme réciproque de celui de la synthèse.

---

### **Résumé en Français**

Les travaux du GRAI (Groupe de Recherche en Automatique Intégrée) se sont attachés, depuis de nombreuses années, à modéliser la structure décisionnelle des systèmes de production. Le modèle GRAI décompose l'organisation décisionnelle en différents niveaux de conduite allant du long terme au court terme. Le modèle GRAI permet également d'effectuer la modélisation, l'analyse et la conception de systèmes de production. Ceci s'effectue en suivant un cheminement appelé démarche de GIM.

Nos travaux s'inscrivent d'une part, comme la modélisation des connaissances nécessaires pour la conception des systèmes de production dans un environnement GRAI. Ces connaissances peuvent être explicites (modèles de référence, règles, ...) ou tacites (anciennes études capitalisées). D'autre part, il s'agit de mettre en place pour la phase de conception de la méthodologie GRAI, un processus de conception simple, efficace et une formalisation de la conception de systèmes de production en vue de l'élaboration d'une aide informatique. Cette approche théorique est utilisée pour l'élaboration des spécifications du système hybride (GRAIXpert) d'aide à l'expertise pour le diagnostic et la conception de systèmes de production, représentant un sous-module de e-MAGIM. Nous proposons également une méthode de résolution de problèmes, basée sur plusieurs types de raisonnements (CBR, Décomposition, transformation, ..) pour faciliter le développement de GRAIXpert.

---

### **Titre en Anglais**

Reasoning Modelling for production systems design in a computer aided GRAI environment

---

### **Résumé en Anglais**

The GRAI approach allows modelling decisional structure of production systems. The GRAI model decomposes the decision system in several levels from long term to short term. It is used to model, diagnosis and design of production systems through the GIM approach (GRAI Integrated Modelling).

Our research is firstly concerned with the modelling of knowledge necessary for designing production systems. These knowledge can be explicit (reference models, rules,...) or tacit (previous studies capitalised as cases). Secondly as the goal being to develop computer aided tools, we have to elaborate a formalised representation of design process for the design phase of GIM.

A structured approach is used to elaborate the specifications of the hybrid expert system (GRAIXpert) for diagnosis and design of production systems. A problem solving method combining different reasoning techniques is also defined and associated to the expert system.

---

### **Discipline**

PRODUCTIQUE

---

### **Mots clés**

Diagnostic, conception, modélisation des connaissances, modèles de référence, capitalisation des connaissances, système d'aide à la conception, modélisation d'entreprise, règles de production.

---

Laboratoire de rattachement

Laboratoire d'Automatique et de Productique - Groupe de Recherche en Automatisation Intégrée  
UMR CNRS 5131 - Université Bordeaux 1 - 351, Cours de la libération - 33405 TALENCE CEDEX

---