



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**UNIVERSITE DE METZ**

**La modélisation de la  
cognition dans  
l'élaboration d'un  
système expert**

**Thèse présentée pour le  
Doctorat en Sciences Humaines,  
Mention Psychologie, par :**

**Eric BRANGIER**

**Sous la direction du Professeur G.N. FISCHER**

**Le 2 Février 1991**

**Membres du jury :**

**G.N. FISCHER** Professeur à l'Université de Metz  
**B. GILLET** Professeur à l'Université de Rouen  
**R. PATESSON** Professeur à l'Université Libre de  
Bruxelles

**BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE DE METZ**

**à l'Université de Nancy**



022 420118 2

**UNIVERSITE DE METZ**

**La modélisation de la  
cognition dans  
l'élaboration d'un  
système expert**

**Thèse présentée pour le  
Doctorat en Sciences Humaines,  
Mention Psychologie, par :**

**Eric BRANGIER**

**Sous la direction du Professeur G.N. FISCHER**

**Le 2 Février 1991**

**Membres du jury :**

**G.N. FISCHER** Professeur à l'Université de Metz  
**B. GILLET** Professeur à l'Université de Rouen  
**R. PATESSON** Professeur à l'Université Libre de  
Bruxelles  
**A. TROGNON** Professeur à l'Université de Nancy

<b>BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE LETTRES - METZ -</b>	
<b>N° Inv.</b>	1991025L
<b>Cote</b>	LIM3 91/1
<b>Loc.</b>	MAGASIN

---

# REMERCIEMENTS

---

Ce travail est le fruit d'une collaboration avec toutes les personnes qui ont toujours répondu favorablement à mes multiples sollicitations.

Je remercie vivement les membres du jury de cette thèse :

- Monsieur Gustave Nicolas Fischer, Professeur à l'Université de Metz, mon directeur de thèse, qui a suivi la progression de ce travail et dont le soutien m'a été précieux. Son écoute attentive et ses remarques constructives m'ont aidé aux tournants importants de mes recherches. Qu'il reçoive ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour sa persévérance qui n'a jamais faibli à suivre ce projet. Je lui suis reconnaissant de la précision de sa relecture et de la qualité de ses remarques, de forme comme de fond, témoignant d'une grande valeur scientifique.
- Monsieur Bernard Gillet, Professeur à l'Université de Rouen, pour avoir eu l'amabilité de participer au jury de cette thèse. Qu'il trouve ici l'expression de mes sentiments reconnaissants.
- Monsieur René Patesson, Professeur à l'Université Libre de Bruxelles, qui me fait l'honneur d'être membre de ce jury. Qu'il soit assuré de l'expression de ma profonde gratitude pour cette participation.
- Monsieur Alain Trognon, Professeur à l'Université de Nancy, qui m'a accueilli dans ses séminaires de recherche. Ce m'est un agréable devoir de le remercier pour la part qu'il a prise dans l'élaboration de cette thèse.

Je remercie chaleureusement toutes les personnes du groupe financier de la Caisse des Dépôts et Consignations qui, de près ou de loin, ont contribué à ce travail. Mes remerciements s'adressent plus particulièrement à l'ensemble du personnel de la Caisse Nationale de Prévoyance et d'Informatique-CDC, qui m'ont permis de réaliser ce travail dans un cadre humain et matériel d'une rare qualité.

En remerciant Monsieur Jean-Marie Sézérat, Responsable du service Recherche Développement Techniques avancées d'Informatique-CDC, pour avoir accueilli mon initiative avec enthousiasme, et m'avoir permis d'effectuer mes recherches, ce sont tous mes collègues de RDT que je remercie. Il serait trop long de les citer, mais tous sauront se reconnaître. Tout en me laissant une grande liberté d'action, ils ont su m'aider, m'encourager et me faire bénéficier de leurs profondes connaissances de l'informatique.

Toute ma gratitude s'adresse également à :

- Docteur André Blavier,
- Monsieur Jean-François Eynard,
- Docteur Christophe Gabriel,
- Docteur Jacques Masson,
- Monsieur André Poilpré,

pour m'avoir transmis leur savoir-faire avec patience, et pour leur participation à l'élaboration du système expert AndromED. Privé de leur solidarité, j'aurais eu bien du mal à poursuivre l'aventure.

Enfin cette recherche fut possible grâce au soutien de l'Association Nationale de la Recherche Technique, A.N.R.T, qui dans le cadre d'une Convention Industrielle de Formation à la REcherche, CIFRE, a financé une partie de cette étude. Je tiens personnellement à l'en remercier.

Je remercie Blandine, ma femme, pour son aide constante, ses encouragements et ses relectures scrupuleuses qui me furent extrêmement précieux.

Enfin, à tous ceux, parents, amis, collègues, membres du Groupe de Recherche sur les Communications, qui dans les moments de doute, par leur amitié et leur affection, m'ont encouragé et soutenu, j'adresse ici mes remerciements les plus chaleureux.

# La modélisation de la cognition dans l'élaboration d'un système expert

## *Résumé*

Cette thèse porte sur la modélisation de la cognition lors de l'élaboration d'un système expert d'aide à la décision dans le domaine de l'assurance-vie. La modélisation de la cognition y est vue comme la conception d'une architecture fonctionnelle des concepts et raisonnements de l'expert. Cette dernière consiste en un circuit "programmable" dans lequel les connaissances sont organisées de deux façons complémentaires.

D'une part, les concepts sont groupés en catégories. Dans les catégories, qui recouvrent les thèmes de la médecine d'assurance, les concepts sont rangés en classes et en instances de classes. Des relations de subordination et de dépendances conceptuelles précisent les liens que les concepts entretiennent entre eux.

D'autre part, les raisonnements sont représentés sous la forme de règles de production et de schémas d'inférences, dont l'activation s'attache à simuler respectivement les activités de diagnostic et de pronostic de l'expert humain.

Dans ce cadre, la prise de décision est envisagée comme un processus d'activation du circuit composé par la catégorisation des concepts, les règles de production et les schémas d'inférences. L'activation repose sur la recherche constante des connaissances les plus pertinentes, et s'attache à déclencher des inférences autorisables dans le circuit à partir des formes logiques, syntaxiques et sémantiques que peuvent prendre les connaissances. Ces connaissances particulières ayant des contenus logiques, syntaxiques et sémantiques sont désignées par le terme "d'opérateur cognitif".

Enfin, nous avons cherché à valider le modèle de cognition par un test confrontant les décisions et justifications d'un groupe de trois experts à celles du système expert. Il en ressort que le système expert fournit des décisions et des justifications qui sont jugées globalement acceptables par les experts humains.

## *Mots clés*

Ergonomie cognitive, Ingénierie des connaissances, Intelligence artificielle, Psychologie de l'expertise, Psychologie du travail, Représentation des connaissances, Système expert.

# The modelisation of cognition for designing an expert system

## **Abstract**

This thesis deals with the problem of cognition modelisation when elaborating a decision aiding expert system in the field of life-insurance. We intend to show that this modelisation can be seen as the design of a functional architecture based on the expert's concepts and reasonings. This architecture consists into a "programmable" circuit in which knowledge is organized in two complementary ways.

On the first hand concepts are gathered into categories, which cover the various topics of insurance medicine. In each category, concepts are ordered into classes and classes instances and related to each other through subordination or conceptual dependency relations.

On the second hand, the expert reasonings are represented by production rules and inference schemes, whose activation tries to simulate respectively the diagnostic and pronostic activities of the human expert.

Therefore, the decision making process can be considered as an activation process of the circuit made up of the concepts categorization, the production rules and the inference schemes. The circuit activation is based on the constant search of the most relevant pieces of knowledge, and seeks to trigger inferences allowed for given logical, syntactical and semantical contents of the knowledge in the different places of the circuit. This particular knowledge with logical, syntactical and semantical contents at once, is called "cognitive operators".

Finally, we sought to validate our model by comparing the expert system answers with those of three experts. It appeared that the decisions made by the expert system and the explanation given are considered globally acceptable by the human experts.

## **Keywords**

Artificial intelligence, Cognitive ergonomics, Expert systems, Knowledge engineering, Knowledge representation, Psychology of expertise, Work psychology.

---

# SOMMAIRE

---

1.	INTRODUCTION.....	17
1.1.	LES TECHNOLOGIES DE LA CONNAISSANCE ET LA PSYCHOLOGIE.....	17
1.1.1.	Présentation des technologies de la connaissance.....	17
1.1.1.1.	Bref historique de l'intelligence artificielle.....	18
1.1.1.1.1.	Les développements théoriques et pratiques sur les automates.....	18
1.1.1.1.2.	Les développements sur la logique et les raisonnements.....	20
1.1.1.2.	Les domaines de l'intelligence artificielle et des techniques avancées.....	21
1.1.1.2.1.	Données générales sur les domaines de l'intelligence artificielle.....	21
1.1.1.2.2.	Données générales sur les systèmes experts.....	21
1.1.2.	Les réseaux d'influences entre l'intelligence artificielle et la psychologie.....	23
1.1.2.1.	Les perspectives communes.....	23
1.1.2.2.	Les critiques.....	24
1.1.2.3.	La pluridisciplinarité.....	25
1.2.	LES CARACTERISTIQUES CONCEPTUELLES ESSENTIELLES DU DEVELOPPEMENT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LA COGNITION.....	27
1.2.1.	La connaissance.....	27
1.2.2.	La communication.....	28
1.2.3.	Discussion.....	29
1.3.	THEME DE LA RECHERCHE : LA MODELISATION DE LA COGNITION DANS L'ELABORATION D'UN SYSTEME EXPERT.....	30
2.	DOMAINE DE LA RECHERCHE.....	33
2.1.	TECHNOLOGIES DE LA CONNAISSANCE, PSYCHOLOGIE ET ERGONOMIE : CADRAGE DES RECHERCHES.....	33

2.1.1.	Les aspects psychosociaux des nouvelles technologies .....	34
2.1.1.1.	La crainte du chômage.....	35
2.1.1.2.	Nouvelles technologies et formes d'organisation du travail.....	36
2.1.1.3.	Les stratégies des utilisateurs par rapport à l'informatisation.....	41
2.1.1.4.	L'imaginaire face aux nouvelles technologies .....	43
2.1.1.5.	Discussion .....	44
2.1.2.	Les aspects ergonomiques des communications homme- machine.....	45
2.1.2.1.	La conception des interactions homme-ordinateur envisagée comme l'application de recommandations ergonomiques .....	47
2.1.2.2.	La conception des interfaces utilisateur comme modélisations d'interactions homme-ordinateur.....	49
2.1.2.2.1.	Les modèles orientés "couches".....	50
2.1.2.2.2.	Les modèles orientés "action" .....	50
2.1.2.2.3.	Les modèles orientés "tâche" .....	54
2.1.2.3.	Discussion .....	56
2.1.3.	Conclusions et orientations de recherche.....	57
2.2.	L'EXPERTISE ET SON RECUEIL .....	58
2.2.1.	L'expertise .....	58
2.2.2.	Le recueil d'expertise .....	61
2.2.2.1.	Définition.....	62
2.2.2.2.	Les acteurs du recueil d'expertise .....	63
	L'expert .....	63
	Le spécialiste.....	64
	Le cognicien.....	64
2.2.2.3.	Le recueil d'expertise comme processus de transformation des connaissances.....	64
2.3.	ANALYSE DE QUELQUES CONTRAINTES DU RECUEIL D'EXPERTISE .....	66
2.3.1.	Les contraintes liées à la verbalisation de l'expertise.....	67
	Caractéristiques de la connaissance de l'expert.....	67
	Difficultés de cerner les connaissances opératives .....	68
	Contraintes linguistiques de l'interaction expert-cognicien .....	69
	Protocoles verbaux et processus cognitifs .....	69
2.3.2.	Les contraintes liées à la coopération expert-cognicien.....	70
	Les conditions organisationnelles de la divulgation des connaissances.....	70
	Le recueil d'expertise et la co-construction des connaissances.....	71
2.3.3.	Les contraintes liées à la formalisation des connaissances .....	72
	Le poids des modèles pré-établis de formalisation des connaissances.....	73
	Le problème de la notation des connaissances.....	73
2.3.4.	Discussion : le filtrage cognitif.....	74
2.4.	LA DETERMINATION DE L'EXPERTISE GRACE AUX TECHNIQUES DE RECUEIL DES CONNAISSANCES .....	75
2.4.1.	L'entretien.....	76
2.4.1.1.	Quelques caractéristiques de l'entretien de recueil d'expertise .....	76
	Généralités sur l'entretien .....	76
	Les propriétés de l'entretien de recueil d'expertise.....	76

	La conduite d'entretiens .....	77
	Définition de l'entretien de recueil d'expertise.....	77
	Les types d'interventions du cogniticien .....	78
2.4.1.2.	Typologie empirique des entretiens de recueil d'expertise .....	79
	Les entretiens exploratoires.....	79
	Les entretiens d'inventaire des connaissances .....	80
	Les entretiens d'étude de cas.....	83
	Les entretiens complémentaires.....	84
	Les entretiens de présentation des résultats et de validation.....	85
2.4.2.	L'observation.....	89
2.4.3.	Discussion .....	90
2.5.	L'ELABORATION D'UN MODELE D'EXPERTISE.....	92
2.5.1.	L'élaboration d'un modèle d'expertise à partir du formalisme des arbres de décisions .....	93
2.5.2.	L'élaboration d'un modèle d'expertise basée sur l'induction.....	94
2.5.3.	L'élaboration d'un modèle d'expertise fondée sur des grilles de classification.....	95
2.5.4.	L'élaboration d'un modèle d'expertise fondée sur l'étude des tâches d'expertise .....	97
	La tâche d'expertise en diagnostic.....	98
	La tâche d'expertise en conception.....	98
	La tâche d'expertise en maintenance .....	99
	Intérêts et limites des modèles orientés "tâche d'expertise" .....	99
2.5.5.	L'élaboration d'un modèle d'expertise fondée sur la structuration des connaissances .....	101
	KADS, Knowledge Acquisition Documentation and Structuring system .....	101
	KOD, Knowledge Oriented Design.....	103
2.5.6.	Discussion .....	104
2.6.	L'IMPLEMENTATION .....	106
2.7.	TEST ET VALIDATION DU SYSTEME EXPERT .....	107
2.7.1.	La validation extrinsèque d'un système expert .....	108
2.7.1.1.	La validation extrinsèque de l'intégration technique .....	108
2.7.1.2.	La validation extrinsèque de l'interface homme-système.....	108
2.7.1.3.	La validation extrinsèque de l'utilisation .....	109
2.7.2.	La validation intrinsèque d'une modélisation de la cognition .....	110
2.7.2.1.	La validation intrinsèque technique .....	110
2.7.2.2.	La validation intrinsèque de la modélisation cognitive par la simulation du modèle .....	111
2.7.3.	Discussion .....	114
2.8.	CONCLUSION SUR LA COLLECTE ET LA MODELISATION DE LA COGNITION.....	115
3.	DEMARCHE DE MODELISATION.....	117
3.1.	PRINCIPES DE MODELISATION ET HYPOTHESES.....	117
3.1.1.	Principes d'élaboration d'une modélisation de la cognition .....	118
3.1.1.1.	La catégorisation des connaissances .....	119

3.1.1.1.1.	Présentation du concept .....	119
3.1.1.1.2.	Discussion du concept.....	120
3.1.1.2.	L'activation des connaissances .....	121
3.1.1.2.1.	Présentation du concept .....	121
3.1.1.2.2.	Discussion du concept.....	125
3.1.1.3.	La compatibilité cognitive .....	126
3.1.1.3.1.	Présentation du concept .....	126
3.1.1.3.2.	Discussion du concept.....	127
3.1.2.	Hypothèses .....	127
3.2.	TERRAIN ET OBJET DE RECHERCHE .....	129
3.2.1.	La situation de l'entreprise .....	130
3.2.1.1.	Éléments généraux .....	130
3.2.1.2.	Caractéristiques de l'organisation du travail et des personnes concernées par l'introduction du système expert. ....	131
3.2.2.	Présentation de la situation d'expertise étudiée .....	134
3.2.2.1.	Caractéristiques générales de l'expertise .....	134
3.2.2.2.	Objectifs du système expert pour l'entreprise.....	137
3.3.	DEMARCHE METHODOLOGIQUE : LE RECUEIL D'EXPERTISE ET SON TRAITEMENT.....	138
3.3.1.	La détermination des connaissances .....	139
3.3.1.1.	La détermination des concepts.....	141
	La détermination des affections et des données cliniques .....	142
	La détermination des examens.....	143
	La détermination des traitements .....	145
	La détermination des actes thérapeutiques.....	146
3.3.1.2.	La détermination des raisonnements .....	147
	La détermination des diagnostics.....	148
	La détermination des pronostics.....	149
	Principes de caractérisation des pronostics.....	150
3.3.2.	Méthodologie d'élaboration d'un modèle d'expertise.....	153
3.3.2.1.	Principe d'élaboration d'un modèle des concepts : la catégorisation des concepts .....	153
	Réduction empirique des concepts .....	154
	Catégorisation formelle des concepts .....	155
3.3.2.2.	Principe d'élaboration d'un modèle des raisonnements : la recherche des formes logiques.....	157
	Réduction empirique des raisonnements .....	158
	Substitution formelle des raisonnements .....	158
3.3.3.	Méthodologie de validation .....	159
	Le choix des experts .....	160
	Le choix des dossiers médicaux soumis conjointement aux experts et au système .....	160
	La passation du test .....	161
	Le choix des techniques d'analyse quantitative et qualitative des résultats.....	162
3.4.	CONCLUSION .....	163
4.	RESULTATS, MODELISATION DE LA COGNITION.....	164
4.1.	LA MODELISATION DES CONCEPTS.....	165
4.1.1.	La catégorisation des concepts.....	165

4.1.1.1.	La catégorisation des affections .....	166
4.1.1.2.	La catégorisation des examens.....	168
4.1.1.3.	La catégorisation des traitements .....	169
4.1.1.4.	La catégorisation des actes thérapeutiques .....	170
4.1.2.	La catégorisation globale des connaissances : architecture cognitive des connaissances conceptuelles et architecture logicielle.....	172
4.1.3.	Limites de la modélisation des concepts : la restriction prototypique .....	174
4.2.	LA MODELISATION DES RAISONNEMENTS.....	176
4.2.1.	La modélisation des diagnostics.....	176
4.2.1.1.	Typologie des diagnostics en tarification médicale.....	176
4.2.1.1.1.	Les diagnostics de nouveauté.....	177
	Définition.....	177
	Exemple .....	177
	Formalisation .....	177
4.2.1.1.2.	Les diagnostics de gravité.....	178
	Définition.....	178
	Exemple .....	178
	Formalisation .....	178
4.2.1.1.3.	Les diagnostics d'incohérence.....	179
	Définition.....	179
	Exemple .....	179
	Formalisation .....	180
4.2.1.2.	La notation des diagnostics : les règles de production .....	180
4.2.1.3.	Le mécanisme d'inférence dans les diagnostics .....	181
4.2.2.	La modélisation des pronostics.....	181
4.2.2.1.	Typologie des pronostics.....	183
4.2.2.1.1.	Les facteurs de risque.....	184
	Définition.....	184
	Exemple .....	184
	Formalisation .....	185
4.2.2.1.2.	Les complications .....	186
	Définition.....	186
	Exemple .....	187
	Formalisation .....	187
4.2.2.1.3.	Les appréciations.....	188
	Définition.....	188
	Exemple .....	188
	Formalisation .....	189
4.2.2.1.4.	Les actes thérapeutiques.....	190
	Définition.....	190
	Exemple .....	190
	Formalisation .....	191
4.2.2.1.5.	Les traitements en cours.....	192
	Définition.....	192
	Exemple .....	192
	Formalisation .....	192
4.2.2.1.6.	Les reconsidérations .....	193
	Définition.....	193
	Exemple .....	193
	Formalisation .....	193
4.2.2.2.	La notion d'opérateur cognitif.....	194
4.2.2.2.1.	Les six opérateurs cognitifs de l'expertise .....	194

	Le contenu sémantique .....	195
	La forme logique .....	195
	Le contenu syntaxique.....	199
4.2.2.2.2.	La notation des opérateurs cognitifs : les schémas d'inférences.....	200
	Définition des schémas d'inférences.....	200
	La structuration des schémas d'inférences .....	202
	La notation des schémas d'inférences .....	206
4.2.2.2.3.	Le mécanisme d'inférence dans les schémas d'inférences : la pertinence .....	209
4.2.2.2.4.	La notion d'opérateur cognitif : vers une conceptualisation .....	215
4.2.3.	L'architecture du système expert : le modèle de simulation .....	221
4.3.	VALIDATION : LA SIMULATION DU MODELE .....	224
4.3.1.	La compatibilité experts / système expert au niveau des décisions .....	225
	L'acceptabilité des décisions.....	226
	Degré de simplicité / complexité des dossiers et acceptabilité des décisions.....	231
	Les origines du manque de compatibilité entre certaines décisions des experts et celles du système .....	234
4.3.2.	La compatibilité experts / système expert au niveau des justifications .....	235
	L'acceptabilité des justifications.....	236
	Degré de simplicité / complexité des dossiers et acceptabilité des justifications.....	238
	Les origines du manque de compatibilité entre les justifications du système et celles des experts .....	239
4.3.3.	Conclusion.....	242
5.	CONCLUSION GENERALE .....	244
	BIBLIOGRAPHIE.....	248
	ANNEXES.....	264
	ANNEXE 1 JUSTIFICATIONS ET INTERETS DE CONCEVOIR UN SYSTEME EXPERT.....	264
	ANNEXE 2 QUELQUES ASPECTS DE L'ENTRETIEN DE RECUEIL D'EXPERTISE.....	266
A.2.1.	La reformulation : typologie et exemples .....	266
A.2.2.	Quelques conseils sur le déroulement de l'entretien de recueil d'expertise .....	270
	Les conditions de déroulement de l'entretien .....	270
	Les symptômes de la relation expert-cogniticien :.....	271
	L'établissement d'une relation "neutre et bienveillante" .....	271
	ANNEXE 3 QUELQUES PRECISIONS SUR LES MODELES D'EXPERTISE FONDES SUR L'ANALYSE DES TACHES.....	272
A.3.1.	More .....	272
A.3.2.	Salt.....	274
A.3.3.	TDE.....	274

<b>ANNEXE 4</b>	<b>RESULTATS DU TEST DE VALIDATION DU SYSTEME</b>	
	<b>EXPERT</b> .....	<b>276</b>
<b>A.4.1.</b>	<b>Présentation des résultats quantitatifs</b> .....	<b>276</b>
<b>A.4.2.</b>	<b>A propos du degré de complexité des dossiers médicaux</b> .....	<b>278</b>
<b>ANNEXE 5</b>	<b>GLOSSAIRE DETAILLE DE QUELQUES TERMES</b> .....	<b>280</b>

---

**La modélisation de  
la cognition dans  
l'élaboration d'un  
système expert**

---

### PHILALETHE.

*Si nous pouvions supposer que deux consciences distinctes et incommunicables agissent tour à tour dans le même corps, l'une constamment pendant le jour et l'autre durant la nuit, ou que la même conscience agit par intervalles dans deux corps différents, je demande si dans le premier cas l'homme de jour et l'homme de nuit, si j'ose m'exprimer de la sorte, ne seraient pas deux personnes aussi distinctes que Socrate et Platon, et si dans le second cas ne serait pas une seule et même personne dans deux corps distincts ? Il n'importe point que cette même conscience, qui affecte deux différents corps, et ces consciences qui affectent le même corps en différents temps, appartiennent l'une à la même substance matérielle, et les deux autres à deux distinctes substances immatérielles qui introduisent ces diverses consciences dans ces corps-là, puisque l'identité personnelle serait également déterminée par la conscience, soit que cette conscience fût attachée à quelque substance individuelle immatérielle ou non. De plus, une chose immatérielle qui pense, doit quelquefois perdre de vue sa conscience passée et la rappeler de nouveau. Or supposez que ces intervalles de mémoire et d'oubli reviennent partout le jour et la nuit, dès là vous avez deux personnes avec le même esprit immatériel. D'où il s'ensuit que le soi n'est point déterminé par l'identité ou la diversité de substance, dont on ne peut être assuré, mais seulement par l'identité de la conscience.*

### THEOPHILE.

*J'avoue que si toutes les apparences étaient changées et transférées d'un esprit sur un autre, ou si Dieu faisait un échange entre deux esprits, donnant le corps visible et les apparences et consciences de l'un à l'autre, l'identité personnelle, au lieu d'être attachée à celle de la substance, suivrait les apparences constantes que la morale humaine doit avoir en vue : mais ces apparences ne consisteront pas dans les seules consciences, et il faudra que Dieu fasse l'échange non seulement des aperceptions ou consciences des individus en question, mais aussi des apparences qui se présentent aux autres à l'égard de ces personnes, autrement il y aurait contradiction entre les consciences des uns et le témoignage des autres, ce qui troublerait l'ordre des choses morales.*

Gottfried Wilhelm LEIBNIZ,  
*Nouveaux essais sur l'entendement humain*, 1703,  
1990, Paris : Flammarion, pages 189 et 190.

---

# 1. INTRODUCTION

---

*Notre recherche s'inscrit dans le cadre général des études traitant des aspects psychologiques de la conception des nouvelles technologies dans les situations de travail. Dans cette introduction, nous présenterons la problématique globale de notre démarche en partant de l'évolution historique qui a vu s'établir des relations nouvelles et spécifiques entre la psychologie, les sciences cognitives, l'ergonomie, la linguistique et les technologies de l'information. Nous montrerons, pour ce qui nous concerne, que la pluridisciplinarité devient un point essentiel de l'évolution des relations entre ces disciplines. Finalement, nous délimiterons le sujet de cette thèse : la modélisation d'une activité cognitive complexe au cours de la conception d'un système à base de connaissances.*

---

## 1.1. LES TECHNOLOGIES DE LA CONNAISSANCE ET LA PSYCHOLOGIE

---

### 1.1.1. Présentation des technologies de la connaissance

D'une façon large, les technologies de la connaissance regroupent l'ensemble des techniques applicables aux traitements des données, des informations et des connaissances. Avec l'ordinateur comme support, elles transforment des symboles représentatifs d'une information en d'autres symboles. Cette transformation est effectuée par les logiciels. Dans son acception générale, un logiciel est une partie d'un système informatique, un programme ou une somme de sous-programmes qui déterminent, contrôlent et gèrent les opérations réalisées par l'ordinateur. L'intelligence artificielle, science et technologie du traitement des connaissances, vise à créer un disposi-

tif informatique copiant ou simulant les comportements de l'homme. Elle peut se définir comme étant la discipline de l'automatisation de toutes les activités humaines (perceptives, sensori-motrices et cognitives) pour lesquelles aucune méthode standard n'est connue a priori. L'intelligence artificielle concerne soit l'étude des mécanismes de l'intelligence, et dans ce cas l'ordinateur est utilisé afin de tester un modèle ou une théorie de l'intelligence ; soit à émuler sur ordinateur des comportements ou des raisonnements dits intelligents, sans pour autant se préoccuper de leurs similitudes avec ceux de l'homme (Haton et Haton, 1989).

L'intelligence artificielle connaît aujourd'hui un essor important. Son développement est le fruit d'une longue histoire, que nous allons brièvement retracer.

### 1.1.1.1. **Bref historique de l'intelligence artificielle**

*L'histoire des sciences et technologies de la cognition est le fruit du développement des technologies et de l'évolution des idées sur les raisonnements.*

L'intelligence artificielle est officiellement née à Dartmouth en 1956. Néanmoins, elle fut précédée d'une époque d'émergence de la discipline, qui peut sans doute remonter à l'époque antique, tant l'intérêt de l'homme pour les automates intelligents est ancestral. Cependant, son histoire académique débute, semble-t-il, au 17<sup>ème</sup> siècle avec le philosophe et mathématicien Leibniz (1646-1716). S'il est surtout connu pour avoir inventé une machine à calculer, et pour avoir développé la philosophie monadiste parodiée par Voltaire dans *Candide*, Leibniz chercha aussi à réduire toute la "raison humaine" à de simples formules mathématiques. Ses préoccupations étaient doubles : il s'intéressait à la fois au matériel en créant une machine à calculer, et aux modes de raisonnement de l'homme. Ses réflexions marquèrent donc les premiers pas de ce que deviendront, trois siècles plus tard, l'ordinateur et le logiciel. A partir de Leibniz, le clivage entre les spécialistes du fonctionnement des machines et les spécialistes du raisonnement va s'opérer.

#### 1.1.1.1.1. **Les développements théoriques et pratiques sur les automates**

*Les technologies de la cognition vont de progrès quantitatifs en améliorations qualitatives.*

Avec Babbage (1792-1871) le développement des calculateurs connut un nouvel essor. Babbage eut beaucoup d'idées : celles d'un calculateur à vapeur, d'un calculateur de logarithmes... et sa fameuse "machine analytique". Cependant, aucun de ces brillants projets ne fut concrétisé. D'ailleurs, l'histoire raconte que son cerveau fut conservé dans l'espoir d'expliquer un jour les étranges raisonnements de cet homme qui, pour son époque, paraissaient bizarres et peu

crédibles. Pourtant, son projet de machine analytique reposait sur une conception prémonitoire de l'ordinateur. Cet engin aurait dû se composer de trois éléments constitutifs de l'ordinateur actuel : une "réserve" ou mémoire, une "fabrique" ou processeur, et un "ensemble de modèles d'action" ou programmes. Mais, Babbage ne bénéficiant ni d'électricité, ni d'outillage de précision pour réaliser son projet, échoua. Plus tard, avec Hollerith (1860-1929), le premier calculateur automatique à cartes perforées vit le jour. En 1924, l'entreprise qu'il avait créée fut intégrée au groupe IBM. Dès lors, l'évolution du matériel fut très rapide, et suivit cinq étapes ou "générations" (Brémond, 1983). La première était constituée d'ordinateurs à lampes (comme par exemple, l'E.N.I.A.C, l'Univac, l'I.B.M 701 ou 704...). La deuxième génération commence en 1958 avec l'arrivée sur le marché des ordinateurs à transistors (l'Univac 1107, le Gamma 60 de Bull, l'I.B.M 1401...). En 1965, la troisième génération apporte une plus grande densité de circuits électroniques pour un volume donné et une première normalisation des systèmes d'exploitation (l'IBM 360...). Avec les années 1970, la quatrième génération amène un système d'exploitation complet et cohérent (le MVS chez IBM, le SIRIS 8 pour CII-HB...). Enfin, c'est grâce à la cinquième génération que s'opèrent dans l'ordinateur des modifications qualitatives. Les ordinateurs de cette génération sont ceux de l'informatique dite avancée, et plus particulièrement de l'intelligence artificielle. Ils se démarquent des autres par plusieurs mutations :

- les dispositifs d'entrées/sorties : ces nouveaux ordinateurs devaient être capables de reconnaître et de synthétiser la voix humaine ;
- le traitement de l'image : des images couleurs peuvent être saisies par digitalisation ;
- les langages : les langages d'interaction et de programmation sont de plus en plus "naturels" ;
- les réseaux : le système informatique n'est plus concentré autour d'un ordinateur sur lequel sont branchés des terminaux, mais il devient un réseau de transmissions où sont connectés des ordinateurs.
- l'apprentissage : le système informatique a la possibilité d'acquérir des connaissances, de les traiter, de les comparer, de les enregistrer, et de les rappeler. Il acquiert ainsi de l'expérience. Ce principe est celui des systèmes experts.

Ces éléments présentent à grands traits l'évolution de la conception du matériel informatique : du calculateur à manivelle de Leibniz au dernier poste d'intelligence artificielle. Cette progression s'est faite

parallèlement au développement des idées sur la modélisation des raisonnements humains.

### 1.1.1.1.2. Les développements sur la logique et les raisonnements

*L'étude des raisonnements est initiée par les mathématiques.*

Au 19ème siècle, le mathématicien anglais Boole (1815-1864) a cherché à construire une mathématique des raisonnements humains, fondée sur une logique formelle exprimée non pas en mots (car trop souvent polysémiques) mais en symboles mathématiques non-ambigus. Son intuition était de considérer que toutes les réponses générées par des arborescences de raisonnements logiques pouvaient être représentées sous une forme binaire. Il en découla d'une part une sorte d'algèbre de la pensée, et d'autre part les prémonitions des programmes informatiques algorithmiques. C'est Boole qui le premier a montré le lien entre les mathématiques et la logique. Russell (1872-1970) et Whitehead (1861-1947) complétèrent la pensée de Boole en soutenant l'idée selon laquelle la logique et les mathématiques ne faisaient qu'un, et que tout problème de logique pouvait être formulé en termes mathématiques, a fortiori en langage informatique. Pendant la seconde guerre mondiale, un nouveau pas fut franchi par Wiener, vers 1943, et le développement de la cybernétique ; c'est notamment Shannon qui paracheva l'intuition de Russell et Whitehead, en démontrant que la logique propositionnelle pouvait être utilisée pour décrire le fonctionnement des deux états, ouvert/fermé ou oui/non ou encore 1/0, d'un circuit électronique ou d'un relais électromagnétique. Ainsi, en 1948, on assiste aux débuts de la théorie de l'information. Dès lors l'information, au même titre que la matière ou l'énergie, devient une entité mesurable, transformable et manipulable. Il ne manque plus qu'une étincelle pour que l'intelligence artificielle naisse. Un élément déterminant de sa naissance réside sans doute dans le test de Turing. En effet, ce mathématicien avait proposé en 1950 un test pour déterminer si une machine était ou non intelligente. Finalement, la conceptualisation de l'intelligence artificielle eut lieu en 1956 à Dartmouth (Etats-Unis) lors d'un séminaire qui réunît entre autres McCarthy, Minsky, Rochester, Shannon, Newell et Simon. Ces pionniers de l'intelligence artificielle réfléchirent sur une idée originale et inédite selon laquelle : "chaque aspect de l'apprentissage ou toute autre forme d'intelligence peut en principe être décrit de façon si précise qu'une machine pourrait le simuler" (Rose, 1986). C'est ainsi que le terme d'intelligence artificielle fut proposé et adopté, et les premiers programmes informatiques intelligents écrits.

## 1.1.1.2. Les domaines de l'intelligence artificielle et des techniques avancées

Après cette présentation succincte des phases du développement des technologies de la simulation du vivant, nous en présenterons les principaux domaines d'application. Nous insisterons plus particulièrement sur les systèmes experts, ou systèmes à base de connaissances, qui constituent un volet important de cette thèse.

### 1.1.1.2.1. Données générales sur les domaines de l'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle recouvre de vastes champs d'investigation comme la reconnaissance et la synthèse vocale, la reconnaissance et la synthèse d'images, l'enseignement assisté par ordinateur, l'étude des langages naturels, la traduction automatique, les banques sémantiques de recherche automatisée de données, la robotique et la productique, le génie logiciel ou la programmation automatique, la communication homme-machine, et bien évidemment les systèmes experts.

Dans chacun de ces domaines, l'intelligence artificielle a obtenu soit des succès notables comme la démonstration automatique de théorèmes, soit des échecs importants comme dans le cas de la traduction automatique. Cependant, aujourd'hui elle n'est plus une discipline émergente puisqu'elle a fait ses preuves dans de nombreux domaines. Elle commence à quitter les laboratoires de recherche pour pénétrer progressivement le milieu des industries et des services. C'est surtout le cas des systèmes experts dont l'impact au niveau de l'entreprise pose à la psychologie du travail des questions de redéfinition de son objet et de sa fonction.

### 1.1.1.2.2. Données générales sur les systèmes experts

*Ils visent à simuler des comportements et des raisonnements estimés intelligents.*

Les systèmes experts sont des applications informatiques modélisant et simulant des comportements estimés intelligents dans un domaine de connaissance donné. Ce sont des outils d'aide à la décision. Ils sont destinés, à plus ou moins court terme, à assister ou à remplacer l'homme dans des domaines où est reconnue une expertise humaine insuffisamment structurée pour être formalisée par un algorithme clos et figé, et/ou sujette à des révisions ou des enrichissements, selon l'expérience accumulée. Contrairement à l'informatique classique, les systèmes experts traitent de l'information plus symbolique que numérique. Ils manipulent des connaissances, des raisonnements

et donc des savoir-faire, dans un environnement de résolution qui peut être inachevé ou incertain. De cette façon, les techniques de l'intelligence artificielle et plus particulièrement les systèmes à base de connaissances, reposent sur une approche heuristique leur permettant d'appréhender et de traiter des connaissances à la fois éparses, parcellaires et subjectives. Classiquement, un système expert est composé de plusieurs éléments — une base de connaissances, une base de faits, un moteur d'inférences et des interfaces pour le dialogue homme-ordinateur — qui, combinés, visent à restituer une expertise comparable à celle de l'expert humain. La base de connaissances regroupe une formalisation informatique des connaissances utilisées par l'expert. Les données de départ sur lesquelles s'appuie la résolution du problème sont stockées dans la base de faits. Enfin, le moteur d'inférences est un programme informatique qui a pour rôle de mobiliser les règles de la base de connaissances dont l'enchaînement fournira le raisonnement global suivi par le système expert. Pour Laurière (1986), les systèmes experts devraient être en mesure de réaliser les opérations suivantes :

- résoudre les problèmes qui leur sont posés par un utilisateur,
- expliquer leur mode de résolution et justifier les résultats obtenus,
- apprendre de nouvelles connaissances,
- appréhender ou "comprendre" la relativité de certaines règles,
- enfin, connaître les limites de ses capacités de résolution.

Aujourd'hui, les systèmes experts sont loin de pouvoir satisfaire toutes ces caractéristiques. Certes, ils peuvent déjà acquérir de nouvelles connaissances sans pour autant obliger l'informaticien à reprogrammer, et expliquer leurs modes de raisonnements et leurs résultats à l'utilisateur. Mais des problèmes restent posés pour les quatrième et cinquième points. Malgré ceci, les justifications et intérêts à concevoir des systèmes à base de connaissances sont nombreux (voir annexes).

## 1.1.2. Les réseaux d'influences entre l'intelligence artificielle et la psychologie

*La mise en œuvre des systèmes à base de connaissances est une question posée à la psychologie.*

Les systèmes experts se fondent sur le développement récent des sciences cognitives. Ils cherchent à simuler le raisonnement d'un expert humain et, en ce sens, les processus visant à leur élaboration concernent l'ergonomie cognitive, la logique, la neurobiologie, la linguistique, la pédagogie, la psychologie du travail, et aussi l'informatique. Ainsi, un faisceau de disciplines converge vers l'étude de la cognition et son transfert en termes informatiques. De la confrontation de ces disciplines sont nées des perspectives communes et des critiques mutuelles dont nous donnons ci-dessous quelques échanges.

### 1.1.2.1. Les perspectives communes

*En étudiant les intelligences naturelles et artificielles, les sciences de la connaissance se sont rencontrées.*

Le courant de pensée qui s'est développé autour de l'intelligence artificielle a influencé fortement l'évolution des sciences humaines et notamment de nombreux chercheurs. Prenons quelques exemples célèbres. La théorie de l'information de Shannon fut reprise par Moles à propos de la perception esthétique (1958) et appliquée de façon plus large aux systèmes de communication (1986). Les "frames" (Minsky, 1975) et les "scripts" (Schank et Abelson, 1977), concepts issus de l'intelligence artificielle, ont des liens très étroits avec des travaux de psychologie cognitive comme ceux sur le fonctionnement de la mémoire (Lieury, 1975), sur la sémantique psychologique (Le Ny, 1979) ou encore sur les stratégies humaines de résolution de problèmes (Hoc, 1986, 1987). Mais, bien plus que la mise en relation de concepts émanant de l'une ou l'autre des disciplines, la psychologie et l'intelligence artificielle ont des concepts communs comme par exemple celui de la mémoire sémantique (Abdi, 1986).

Ainsi, dès leurs débuts, en cherchant à comprendre et à automatiser les fonctions sensori-motrices, perceptives et cognitives de l'homme dans des domaines donnés, les sciences cognitives apparaissent comme un important courant d'idées éclectiques -informatique, psychologie, neurobiologie, linguistique- (Kayser, 1987). Leur rapprochement mutuel favorise la circulation réflexive de concepts et de théories d'une discipline à l'autre.

### 1.1.2.2. Les critiques

Dans les années 1950 et 1960, les chercheurs en intelligence artificielle manifestaient un très grand optimisme sur l'avenir de cette nouvelle discipline. En 1958, Simon déclarait par exemple (cité par Dreyfus, 1984) : "d'ici dix ans, le champion du monde du jeu d'échecs sera un ordinateur, à moins que les règlements ne leur interdisent de concourir; d'ici dix ans, un ordinateur découvrira et démontrera un nouveau théorème de mathématique important; d'ici dix ans, la plupart des thèses émises en psychologie revêtiront la forme de programmes d'ordinateurs ou de commentaires qualitatifs sur les traits saillants de programme d'ordinateur"... Ces prédictions ne se sont pas encore toutes réalisées. Dans les années 1970, la confrontation avec la réalité fit prendre conscience des énormes difficultés des problèmes abordés. Les espoirs de la traduction automatique (Winograd, 1984), du traitement sémantique de l'information et de la représentation des connaissances usuelles (Dreyfus, 1984) s'estompèrent vite. Corollairement, l'intelligence artificielle commença à avoir ses détracteurs. Pour Searle (1980, cité par Guéniffey, 1986) même si l'intelligence artificielle arrive à son but, cela ne veut pas dire pour autant que les ordinateurs soient devenus intelligents, car ils ne sont pas capables de créer réellement quelque chose d'intelligent. Pour sa part, Dreyfus (1984) fait remarquer que les chercheurs en intelligence artificielle ne font guère l'autocritique de leur discipline, et continuent de croire en des postulats dont la validité scientifique est de plus en plus remise en cause. Cet auteur dénombre et critique les quatre postulats de l'intelligence artificielle :

- (a) le postulat biologique selon lequel le cerveau fonctionnerait de la même manière qu'un ordinateur n'est pas prouvé scientifiquement ;
- (b) le postulat psychologique selon lequel le fonctionnement cognitif de l'homme se conforme à des heuristiques ;
- (c) le postulat épistémologique et (d) le postulat ontologique d'après lesquels toute activité humaine doit pouvoir s'analyser et se formaliser en termes de règles reliant des atomes de faits.

Ces postulats sont inopérants sur le plan expérimental. Actuellement, il semble que les critiques adressées à l'intelligence artificielle ne proviennent plus seulement des linguistes, des psychologues, des sociologues ou des philosophes, mais soient aussi le fait des ingénieurs de la connaissance eux-mêmes. Ainsi, Schank (1986) note que cette discipline "marche sur la tête"! Pour lui, les systèmes experts qui fonctionnent bien, ce sont ceux "qui concernent des expertises presque triviales". Plus récemment, Winograd et Flores

*Les critiques des orientations de l'intelligence artificielle ont conduit à la pluridisciplinarité.*

(1989) et Suchman (1987) ont formulé des critiques aiguisées à l'encontre des orientations de l'intelligence artificielle. Ils ont dessinés les grandes lignes d'une approche pluridisciplinaire de l'intelligence et de son automatisaion. Leur approche tend à intégrer des théories de la neurobiologie, de l'éthnométhodologie, de la linguistique, de la phénoménologie à celles de l'intelligence artificielle.

Euphorique à ses débuts, scientifiquement faible et critiquée par les sciences humaines, l'intelligence artificielle connaît aujourd'hui un fort développement en pénétrant les entreprises, et trouve aussi des fondements scientifiques établis par des recherches pluridisciplinaires.

### 1.1.2.3. La pluridisciplinarité

La convergence d'efforts et d'intérêts des disciplines des sciences cognitives revêt-elle seulement le caractère d'une hospitalité intellectuelle mutuelle, ou est-ce réellement une approche pluridisciplinaire ou transdisciplinaire des problèmes de la connaissance ?

Aujourd'hui, la place réservée à l'intelligence artificielle dans les sciences cognitives est centrale et débouche sur des applications concrètes tant au niveau académique qu'industriel. En revanche, les autres disciplines, psychologie, logique et linguistique, sont reléguées à une position périphérique. Néanmoins, elles alimentent un ensemble de démarches en permettant à la fois des descriptions de la cognition en termes d'architectures cognitives, et des simulations grâce à des programmes informatiques. Aussi, la construction de la connaissance est impliquée dans toutes les disciplines des sciences cognitives, et ce n'est pas un hasard si les sciences cognitives en rassemblent de nombreuses. C'est parce qu'elles sont structurellement incomplètes, que les disciplines oeuvrant à institutionnaliser une science de la cognition trouvent dans la pluridisciplinarité une réponse aux carences de leur objet de recherche (par exemple l'informatique n'a pas d'objet de recherche en tant que tel, comme le montre Tiberghien (1988a), mais l'intelligence artificielle lui en accrédite un : l'intelligence naturelle et artificielle), ou de leurs méthodes d'investigation (par exemple, la validation des propositions scientifiques en psychologie s'enrichit de la simulation informatique des théories sur la mémoire). Par conséquent, les problèmes ne peuvent plus être posés uniquement dans les termes de la discipline d'origine. A titre d'illustration, le problème de la clas-

sification des concepts en mémoire ne peut plus être envisagé aujourd'hui seulement en fonction de données psychologiques, mais aussi en fonction d'une éventuelle simulation en machine de cette catégorisation. Ainsi, l'approche psychologique est-elle enrichie par des données informatiques sur la représentation des classifications, comme par exemple les langages orientés objets.

Par ailleurs, la pluridisciplinarité constitue un enjeu scientifique pour ces disciplines. En effet, elles cherchent à se fédérer pour établir une base plus solide à leur savoir propre tout en prenant appui sur d'autres savoirs, comme le résumait Andler et Livet (1989) : "il y aurait donc, dans tous les cas, une forme d'incomplétude : ce n'est que collectivement que ces disciplines auraient l'espoir de saisir dans sa totalité leur véritable objet, ce qui, comme dans toute course au trésor, n'irait pas sans conflit. Et, du moins pour l'intelligence artificielle, qui joue dans cette affaire un rôle étrange, central et fantomatique à la fois, l'appartenance à une famille scientifique permettrait d'échapper à l'image de l'ingénieur, de l'ingénieur qui devient, ou peut devenir fou. Loin de donner naissance au Golem, à Frankenstein ou à Big Brother, l'intelligence artificielle les comprend et les met hors d'état de nuire : elle devient la médecine scientifique de l'homme dans l'univers des machines, de la machine dans l'univers des hommes."

En définitive, la pluridisciplinarité exprimée par des déplacements conceptuels d'une science à l'autre remplit un quadruple objectif. En premier lieu, elle permet de consolider les fondements de certaines sciences comme l'informatique ou la psychologie. En deuxième lieu, elle oeuvre à la constitution d'une science de l'esprit à part entière et unifiée. En troisième lieu, elle inaugure une nouvelle façon d'aborder les problèmes, qui réfute un réductionnisme behavioriste ayant éloigné de son vocabulaire le mental, les structures cognitives, en bref l'intérieur de la "boîte noire". En dernier lieu, elle vise à prémunir les hommes de certains docteurs Frankenstein dont la volonté de se surpasser, de reculer les frontières de l'inconnu engendre parfois des monstruosité.

---

## 1.2. LES CARACTERISTIQUES CONCEPTUELLES ESSENTIELLES DU DEVELOPPEMENT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LA COGNITION

---

Le développement de l'intelligence artificielle ne correspond pas seulement à l'influence d'une discipline sur une autre, qui retravaille les concepts et théories issus des recherches de la première. Il correspond également à une nouvelle façon d'appréhender les problèmes, dans un cadre conceptuel qui redéfinit en particulier l'objet de la psychologie du travail. Parmi les concepts nouvellement mis en exergue par les sciences cognitives, la connaissance et la communication apparaissent parmi les plus importants.

### 1.2.1. La connaissance

La connaissance est un axe d'étude de la psychologie et de l'intelligence artificielle. C'est autour de la connaissance que gravitent l'apprentissage, la mémoire, la perception et le langage, c'est-à-dire les grands domaines d'étude de la psychologie et de l'intelligence artificielle.

Saisie par le développement des sciences et technologies de la cognition, la notion de connaissance a évolué. Mais derrière cette évolution, c'est en fait la façon dont on définit la cognition qui s'est modifiée. Varela (1989) note qu'elle est passée d'une conception computationnelle provenant des recherches sur la résolution de problèmes et le traitement de l'information, à une conception plus embrouillée où se mêlent des considérations neurobiologiques, phénoménologiques et linguistiques. Retraçons rapidement cette historique et indiquons les éclairages successifs qui ont porté sur la notion de connaissance.

*De la cybernétique à l'enaction, la notion de connaissance a connu quatre grands courants.*

La cybernétique -définie comme la science du contrôle et de la communication chez l'homme, l'animal et la machine- a envisagé la connaissance comme un ensemble de formules logiques, qui combinées, permettent de construire des robots. Ainsi, la logique est devenue un outil pour décrire le système cognitif et les raisonnements humains. La cognition est donc assimilée à une sorte de mécanique, qui, dotée des règles de la logique formelle, combine des symboles.

La prise en compte des symboles débouche sur une deuxième approche de la connaissance : le cognitivisme. Pour le cognitivisme, le comportement intelligent présuppose la faculté de représenter le monde d'une certaine façon. La notion centrale ici est donc celle de la représentation à partir de laquelle il est possible de rendre compte des connaissances des individus. Ces représentations sont des données psychologiques pouvant être codifiées symboliquement en machine. La connaissance se définit alors comme un ensemble de symboles exprimables physiquement et manipulables à partir de règles, dont le sens réside dans les symboles manipulés. Cette approche de la connaissance est aujourd'hui remise en cause, car elle fait des symboles une condition suffisante à l'émergence du sens. Or, des travaux ont démenti cette conception de la connaissance en montrant qu'un niveau sub-symbolique, c'est-à-dire en deçà de la représentation, intervenait également. Il s'agit notamment de recherches menées en neurobiologie sur les architectures neuronales. De là est née l'approche connexionniste de la connaissance, qui n'enferme plus le sens dans les symboles. Le sens provient de l'état du système et est lié à son activité générale. Ainsi, le sens émerge d'une interaction entre des schémas d'activités complexes, en d'autres termes, le sens est une propriété émergente d'un réseau de neurones, selon l'optique neurobiologique, ou d'un réseau d'éléments connectés pouvant subir des changements structuraux, selon une optique intelligence artificielle plus large. Dans ce cadre, la connaissance se définit par "l'action productive : l'historique du couplage structurel qui enacte (fait émerger) un monde" (Varela, 1989).

## 1.2.2. La communication

*Cybernétique, systémique, éthnométhodologie, linguistique constituent quatre aspects du développement de la notion de communication*

Tout comme l'idée de connaissance, la notion de communication se formalise avec la cybernétique. Le modèle cybernétique de la communication, basé sur la théorie de l'information, conçoit la communication comme l'échange d'un message entre un émetteur et un récepteur via un canal, en fonction d'un référent et d'un répertoire plus ou moins communs aux interlocuteurs. Si le modèle cybernétique permet la description des communications non-humaines, il s'avère incapable de décrire, et encore moins d'expliquer, des phénomènes de communication plus complexes comme les conversations par exemple, car il repose sur un schéma linéaire, codage-décodage, qui ne permet pas d'interpréter des changements imprévus et non inclus dans le cadre pré-établi. En effet, ce modèle établit qu'une transaction repose sur un support technique codé, et le message a au départ une valeur indépendante de l'individu. Le message

ne peut donc être décodé qu'en fonction du système sur lequel il est construit et non sur ce que l'individu y met comme sentiments, allusions... Dans une autre perspective, la communication n'est plus considérée comme un processus d'échange et de transformation de messages, mais comme un processus psychique qui fait intervenir d'autres facteurs interdépendants de communication : geste, parole, silence, regard, etc (Fischer, 1987a). Ce modèle, qui s'inspire de l'approche systémique de la communication, insiste sur le fait qu'une communication inclut toujours deux types d'informations : les faits ou contenus communiqués et les relations qui se mettent en place. Ce modèle met donc l'accent sur les interactions des individus engagés dans un tel processus. D'autres types de recherches ont porté sur les modèles du langage dans la communication. Ces travaux, inaugurés par des linguistes, des psycholinguistes et des éthnométhodologues, se centrent sur l'étude du langage comme facteur déterminant des situations de communication. Dans ce cadre, la situation de communication est considérée comme une situation de conversation où les individus négocient leurs interlocutions et co-construisent la référence. La référence n'est plus une donnée de fait partagée plus ou moins intégralement par les individus, comme le voulait le modèle cybernétique, mais elle devient une donnée co-produite par les interlocuteurs (Ghiglione, 1986 ; Trognon, 1986a).

### 1.2.3. Discussion

*Il n'y a pas de connaissance sans communication, et inversement.*

Les sciences de la cognition ont mis en évidence le lien existant entre la communication et la cognition. Aussi, il devient impossible de penser à une communication sans connaissance, c'est-à-dire sans enjeu, sans objectif, sans intention. La communication est le moyen humain de produire des connaissances. Dans cette acception, elle remplit la fonction de traduire de l'individuel en du collectif, du psychologique en du sociologique, et inversement. La communication se présente donc comme une interface permettant aux individus de comprendre comment ils pensent et de gérer les connaissances ainsi produites. En dégageant l'importance de la communication et de la connaissance, les sciences cognitives ont établi des relations nouvelles entre la linguistique, la psychologie, la logique, la neurobiologie et l'informatique.

Avec l'essor des sciences et technologies de la connaissance, nous assistons à un déplacement des centres d'intérêts et des préoccupations de la psychologie du travail. Précédemment surtout orientée sur des aspects de formation, de recrutement et de gestion du personnel, elle est confrontée aujourd'hui aux problèmes résultant

du recours par la technologie à la cognition et à la communication, dans les situations de travail.

*La psychologie du travail aborde les thèmes de la conception des systèmes d'aide au travail, sous l'angle de l'étude de la cognition et de la communication.*

La psychologie du travail se trouve plus particulièrement concernée par le problème des aides cognitives au travail (dispositif informatique d'assistance à l'utilisateur), par celui de la communication homme-machine, ainsi que celui de l'intégration de tels systèmes dans l'environnement socio-organisationnel. C'est une évolution de la construction des savoirs en psychologie du travail. Elle a sans doute débuté avec les études portant sur la motivation au travail qui ont cherché à comprendre ce qui se passe à "l'intérieur" du travailleur par rapport à sa tâche. D'un point de vue épistémologique, ces recherches ont abordé le registre cognitif du travailleur et ont vraisemblablement inauguré les travaux qui se centrent aujourd'hui sur la modélisation de la cognition. C'est ce dernier thème que nous traitons dans cette thèse.

Ainsi, l'analyse des processus interactifs entre un type de problème et un dispositif informatique dans les situations de travail représente une source de recherche privilégiée pour comprendre les connaissances construites dans l'exercice d'un métier et dans les interactions homme-machine.

---

### **1.3. THEME DE LA RECHERCHE : LA MODELISATION DE LA COGNITION DANS L'ELABORATION D'UN SYSTEME EXPERT**

---

Le développement des sciences et technologies de la connaissance implique la construction d'un champ scientifique nouveau, auquel la psychologie du travail ne peut déroger. Un certain nombre de problèmes lui sont posés, notamment celui du recueil et de la modélisation de la connaissance. L'objectif de notre recherche est précisément d'étudier une situation de travail, afin de proposer une modélisation de la cognition qui soit informatisable. Notre étude s'inscrit par conséquent dans le cadre des travaux menés en sciences cognitives qui questionnent et introduisent une nouvelle structuration du domaine de la psychologie du travail.

Dans les sociétés traditionnelles ou pré-industrielles, c'est à travers

l'apprentissage et les expériences quotidiennes que les individus développaient des connaissances leur permettant de devenir experts dans un domaine donné. Avec les sociétés techno-scientifiques, cette manière classique d'acquérir des connaissances est bouleversée. Aujourd'hui les systèmes à base de connaissances, et plus généralement les sciences et technologies de la connaissance, évacuent le temps comme facteur d'apprentissage d'un savoir performant, et visent à optimiser l'acquisition des connaissances à travers leur formalisation et leur automatisation. Ainsi, la notion de système expert aboutit à une autre façon d'envisager le problème de la connaissance.

Ceci nous amène à préciser l'objet de notre recherche : **la modélisation de la cognition lors de la conception d'un système expert dans une entreprise spécialisée dans l'assurance-vie.**

Dans la situation étudiée, le système expert est destiné à aider les agents chargés de l'évaluation et de l'acceptation des contrats d'assurance-vie. Il a pour objectif de fournir une assistance dans la prise de décision quant à la détermination du risque médical global du client. Le calcul du risque médical consiste en l'appréciation de la probabilité du décès d'un individu donné appartenant à une classe d'âge donnée. Si cet individu a une probabilité de décès supérieure à la moyenne de sa classe d'âge, alors il présente un sur-risque médical. Le travail d'évaluation du sur-risque est effectué par des experts médecins et s'appuie sur des raisonnements complexes mêlant des données de médecine, d'actuariat et d'assurance-vie. Le recueil d'expertise s'est déroulé sous forme d'entretiens entre des experts de la compagnie d'assurance et une équipe d'ingénieurs des connaissances chargée de recueillir les connaissances des experts, d'élaborer et de structurer la base de connaissances du futur système. Notre travail constitue une étude de l'expertise ainsi produite en situation d'entretien. Dans ce sens, elle cherche à comprendre quelques principes qui régissent le recueil et la modélisation de la cognition.

L'orientation et l'objectif de cette thèse étant introduits, nous proposons de la découper de la façon suivante.

***Plan du chapitre 2.***

Dans le chapitre 2, consacré à la présentation du domaine de la recherche, nous initialiserons nos travaux par les problèmes que posent la conception et l'utilisation de dispositifs d'intelligence artificielle à la psychologie du travail. Ceci nous amènera à délimiter de manière plus précise l'objet de notre recherche : la détermination et

la modélisation de la cognition lors de la conception des systèmes experts. Nous en viendrons ensuite à définir les différentes phases de la conception et de la réalisation des systèmes à base de connaissances. Nous verrons comment les travaux menés en sciences cognitives ont défini l'expertise et son recueil. Nous aborderons également le recueil d'expertise comme un processus de transformation de l'expertise à travers les étapes suivantes :

- la détermination des connaissances ;
- l'élaboration d'un modèle d'expertise ;
- l'implémentation de ce modèle en machine ;
- et finalement, la simulation de ce modèle et sa validation auprès des experts.

En somme, ce chapitre nous conduira à examiner les aspects théoriques de l'élaboration d'un système expert.

*Plan du chapitre 3.*

Le chapitre 3 présentera la démarche de notre recherche. Sur la base des orientations théoriques et méthodologiques développées dans le chapitre 2, nous nous intéresserons plus particulièrement à trois concepts intervenant de façon prégnante dans la modélisation d'une activité cognitive : la catégorisation des connaissances, l'activation des connaissances et la compatibilité entre l'expert et son modèle artificiel. La présentation du terrain de recherche et de l'objet d'étude nous conduira ensuite à caractériser notre cadre méthodologique de détermination et de modélisation de l'expertise, ainsi que celui du protocole de validation du modèle auquel nous avons abouti.

*Plan du chapitre 4.*

Le chapitre 4 concerne la présentation des résultats. Nous y modéliserons les concepts et raisonnements recueillis auprès de l'expert, en montrant à quelle architecture cognitive et logicielle nous sommes parvenus. La fin de ce chapitre abordera la simulation de ce modèle et sa validation par un test en double aveugle.

*Plan du chapitre 5.*

Enfin en conclusion, nous établirons le bilan de nos résultats et donnerons quelques perspectives sur lesquelles pourraient déboucher des recherches visant à la modélisation de la cognition.

---

## 2. DOMAINE DE LA RECHERCHE

---

*L'objet de notre recherche porte sur l'articulation de la psychologie du travail et de l'ergonomie d'une part, et des technologies nouvelles d'autre part. A partir d'une présentation d'études traitant des difficultés rencontrées par les utilisateurs à l'égard de l'informatisation de leur travail (notamment au niveau des impacts psychosociologiques de l'informatisation, et au niveau des communications homme-machine), nous aborderons les problèmes spécifiques au recueil et à la modélisation de l'expertise. Nous considérerons le recueil d'expertise comme un processus de transformation d'une connaissance brute en une connaissance informatisable. Nous en viendrons alors à présenter et discuter divers travaux ayant étudié les étapes de ce processus.*

---

### 2.1. TECHNOLOGIES DE LA CONNAISSANCE, PSYCHOLOGIE ET ERGONOMIE : CADRAGE DES RECHERCHES

---

*Trois problèmes sont posés par les systèmes à base de connaissances à la psychologie du travail.*

L'introduction des systèmes à base de connaissances pose notamment trois types de problèmes à la psychologie et à l'ergonomie. Selon Spérandio (1986), il s'agit de :

- (a) "définir la place et l'utilité d'un système expert dans le cadre du travail et des fonctions du professionnel censé être aidé."
- (b) "améliorer le dialogue avec l'ordinateur, il y a beaucoup à faire d'autant plus que les opérateurs qui auront réellement besoin d'un système expert exigeront des dialogues très rapides, sans commune mesure avec les voies actuelles par clavier."

- (c) “définir, rassembler, analyser et modéliser les règles de raisonnement et les données des experts humains avec lesquelles les systèmes experts sont construits. Cette collecte du savoir opératoire, qui est au coeur du champ d’investigation de l’ergonomie cognitive, n’est actuellement bien faite ni par les informaticiens, ni par les experts eux-mêmes, faute de méthode. Les techniques de l’analyse du travail jointes à celles des sciences cognitives, peuvent trouver ici utilement à s’employer”.

En accord avec Spérandio, la mise en place des technologies de la simulation du vivant peut être étudiée selon trois axes de recherche.

- (a) **L’axe impact psychosocial** de l’implantation des systèmes “intelligents” dans un service d’utilisateurs s’attache à comprendre les modifications du contenu, des conditions et de l’organisation du travail.
- (b) **L’axe ergonomie des dialogues** est lié à la conception et à l’utilisation des interfaces utilisateur. Avec l’exigence de concevoir un dialogue adapté aux caractéristiques physiques et mentales des utilisateurs, l’ergonomie des logiciels vise à spécifier les caractéristiques de l’interface homme-machine en tenant compte du comportement de l’individu face à l’écran.
- (c) **L’axe modélisation cognitive**, essentiellement orienté sur la simulation de comportements et de raisonnements estimés intelligents, cherche à analyser, à formaliser et à simuler une activité cognitive complexe.

La présentation de travaux menés, tant sur les aspects psychosociaux des techniques nouvelles que sur la conception des dialogues homme-machine, nous conduira à identifier les raisons du rejet des nouvelles technologies par les utilisateurs.

## 2.1.1. Les aspects psychosociaux des nouvelles technologies

*L’informatisation correspond à un basculement d’un système de travail vers un autre.*

Pour les entreprises, le processus d’informatisation est toujours un processus transformateur des conditions de réalisation du travail. L’introduction des techniques nouvelles est un processus dynamique qui saisit les utilisateurs et les précipite d’un système de travail vers un autre. C’est également une étape de la vie des entreprises où se constituent des forces de résistance et d’innovation conduisant souvent à un changement d’organisation du travail et à des modifications de la culture d’entreprise. L’informatisation d’une entreprise correspond ainsi à la mise en place d’une situation nouvelle, dans la-

quelle les individus développent des stratégies d'appropriation ou de rejet de la nouvelle technologie. Cette situation devient alors un lieu où se manifestent des problèmes :

- d'ordre socio-économique (relatifs à la crainte de la perte de l'emploi) ;
- d'ordre organisationnel (relatifs au changement d'organisation du travail) ;
- d'ordre stratégique (relatifs aux comportements mis en oeuvre par les individus) ;
- et enfin d'ordre culturel (relatifs à l'intégration de la technique dans la culture et l'idéologie de l'entreprise) ;

qui montrent à quel point la technique a un retentissement social. Reprenons les recherches conduites dans ces quatre directions.

### 2.1.1.1. La crainte du chômage

*La crainte du chômage technologique est une première raison de rejet de l'informatique.*

En 1988, l'INSEE (Lasfargue, 1988) publiait un rapport prévisionnel sur l'évolution du chômage. Ce rapport, qui confirmait les études d'autres organismes, prévoyait un effectif de 3,5 millions de chômeurs pour 1992, soit 14,6% de la population active. Le chômage technologique et l'angoisse qui peut y être associée, est une réalité sociale (Grize et al, 1987). Certains auteurs comme (Pastré, 1984) insistent sur les fortes dépendances des choix politiques et sur les pièges idéologiques qui conduisent à des prises de position exagérément optimistes ou pessimistes. Car en effet, les relations entre la perte des emplois et l'informatisation ne sont pas précisément connues. Si plusieurs études ont apporté des explications variées, elles étaient souvent contradictoires et démenties par les faits (Lasfargue, 1988). Ainsi, d'un point de vue économique, il ne semble pas y avoir de déterminisme technologique strict sur le volume des emplois.

D'un point de vue sociologique, une recherche (Grize et al., 1987) portant sur les représentations sociales des salariés face aux nouvelles technologies a montré que le souci de l'emploi est une préoccupation constante. Pour certains salariés, la réduction de l'emploi est perçue comme étant liée au rôle des nouvelles machines introduites au travail : tant de machine en plus, tant d'emplois en moins ! A ce propos, Lasfargue (1988) souligne que la peur du chômage est dangereuse, car si elle venait à s'amplifier, elle aurait pour conséquence de freiner la modernisation des entreprises, et contribuerait alors à augmenter les chiffres du chômage. Pour d'autres salariés, les conséquences sur l'emploi n'apparaissent pas si brutales : il n'y aurait plus d'embauche mais des reclassements in-

ternes associés à des possibilités de formation. Pour d'autres encore, les techniques nouvelles créent des emplois par le fait d'un transfert vers d'autres industries, ou vers d'autres domaines (augmentation des ventes et donc du secteur commercial). Ce dernier point fait apparaître les associations faites par les individus entre les nouvelles technologies et la rentabilité : l'informatisation est perçue en relation avec la performance économique.

En somme, la peur d'être remplacé par une machine et de se retrouver sans travail explique pour une part importante les raisons du rejet des nouvelles technologies. Cette inquiétude se traduit dans les entreprises par un certain nombre de revendications qui conditionnent les stratégies du personnel. Dans le cas des systèmes à base de connaissances, cette crainte peut être renforcée par la hantise de perdre l'intérêt de son travail, les décisions pouvant être prises par la machine (Fischer et al, 1990).

### **2.1.1.2. Nouvelles technologies et formes d'organisation du travail**

*Le déterminisme technologique n'est pas strict.*

Les relations entre l'informatique et l'organisation du travail ont pu faire croire que l'introduction des ordinateurs était inévitable et que c'était à l'organisation du travail de s'adapter à la technicisation. En réalité, les rapports s'établissant entre l'informatique et l'organisation du travail résultent de jeux d'acteurs individuels et collectifs (Denis, 1987). En ce sens, la technologie représente des enjeux relatifs à des marges de liberté qu'elle offre ou supprime.

Un grand nombre d'auteurs ont montré que l'introduction de l'informatique dans une entreprise modifie l'organisation du travail et les relations sociales de travail (Alter, 1985 ; Balle et Peaucelle, 1972 ; Bird, 1981 ; Crozier, 1980 ; Eksl et Sole, 1979). Ils s'accordent à dire que le contenu et l'organisation du travail sont affectés de plusieurs manières par l'informatisation. Pour certains d'entre eux l'informatisation ne va guère dans le sens d'une amélioration des conditions de travail, alors que pour d'autres le progrès technique peut constituer une opportunité pour le développement du progrès social.

*L'informatique peut engendrer la taylorisation du tertiaire.*

Un premier type de recherches sur l'informatique et l'organisation du travail a mis en évidence le fait que l'informatisation reproduit et accentue quelques grands principes du taylorisme. Sur le plan de la parcellisation du travail, on constate que si la division du travail n'est pas générée par l'introduction de l'informatique, elle en est du

moins renforcée. De ce point de vue l'informatisation accentue l'émiettement, la spécialisation et la centralisation des tâches. Les employés n'effectuent plus qu'une part souvent identique d'une tâche, comme la liquidation d'un dossier. De ce fait, leur travail perd de sa signification et s'accompagne à la fois de frustration liée à la dépossession et d'un sentiment de dépersonnalisation du travail. La technicisation du travail éloigne généralement l'opérateur de l'objet de son travail (Pavé, 1984). A propos de la séparation entre conception / contrôle / exécution, Eksl et Solé (1979) font remarquer que l'informatisation d'une tâche aboutit à une rigidité de son exécution, en ce sens qu'elle laisse peu de liberté à l'employé dans son mode opératoire. Le temps et la manière de procéder lui sont imposés par des programmes conçus sans lui, et par des personnes étrangères à son travail. Dans le même temps, ces programmes rendent plus faciles et plus fréquents les contrôles du travail. Le pouvoir de l'employé sur son travail serait donc réduit au profit d'une augmentation du contrôle de l'ordinateur. Se rapportant à la qualification des employés, Bensaid-Singery et Singery (1979) notent que "l'écart entre les postes qualifiés et non qualifiés s'accroît donc avec l'introduction de l'informatique", et ceci par une diminution des emplois qualifiés et l'augmentation de ceux non-qualifiés. Au regard de ces différentes conséquences de l'informatisation sur les employés du secteur tertiaire, il semble pertinent de parler de taylorisation du travail de bureau. L'informatisation du tertiaire pourrait être considérée comme un progrès technique équivalent à la mécanisation du secteur industriel. Mais il faut nuancer cette affirmation. Si l'informatique aboutit à une transformation de l'organisation du travail, elle induit cependant plusieurs types d'organisations possibles et le renforcement du taylorisme n'est pas systématique. En effet, l'informatisation peut jouer un triple rôle par rapport à l'organisation du travail.

- (a) Modifiée par l'informatisation, l'organisation du travail en est quelquefois une conséquence connue et prévue. On rencontre des cas où l'informatique est conçue comme une opportunité pour restructurer l'organisation du travail.
- (b) Le déterminisme de l'informatique sur l'organisation du travail n'est pas strict. Ce sont plutôt les "politiques d'informatisation" qui, elles, sont déterminantes. C'est ce que note Eksl (1979) en rappelant "qu'à un même système informatique peuvent correspondre plusieurs organisations du travail".
- (c) Il est également possible que l'introduction de l'informatique ait un rôle de renforcement d'une organisation antérieure du travail : "l'introduction de la bureautique paraît renforcer les

tendances pré-existantes du système socio-organisationnel à l'ouverture ou à la fermeture, à la libéralisation ou à la codification du travail" (Melèse et al., 1983).

***L'informatique peut améliorer les conditions de réalisation du travail.***

Un second type de recherches montre que l'informatique peut conduire à une augmentation de la souplesse, de la qualité du travail et de la satisfaction qui y est associée. En analysant les effets de l'introduction de la conception assistée par ordinateur sur les dessinateurs d'une entreprise du bâtiment, Ghiglione et Javorschi (1979) ont constaté que le dessin automatique avait :

- permis un enrichissement des tâches des dessinateurs ;
- réduit la monotonie dans le travail ;
- et aidé à la réalisation de constructions diversifiées et complexes.

***Le poids des apprentissages antérieurs inhibe le changement.***

Ces deux axes d'étude -la dégradation et l'amélioration de l'organisation du travail- nous indique que l'informatique n'impose pas en soi un type d'organisation du travail. En revanche, elle rend possible diverses expressions. L'informatisation pourrait être, et est dans certains cas, un temps pour la remise en question de la rationalisation, à condition que les acteurs de la situation s'en donnent les moyens. Néanmoins, Bousquet (et al., 1979), s'intéressant à cette même problématique, écrit "or, on ignore si des individus, face à un tel système (technique) sont capables de concevoir son utilisation sans y réintroduire la division sociale et technique du travail telle qu'ils la vivent dans l'entreprise où ils fonctionnent." Par conséquent, la rationalisation de l'organisation du travail accompagnant l'informatisation serait plus liée aux poids des apprentissages antérieurs des individus qu'au strict déterminisme technologique. Telle est aussi la position de Eksl et Solé (1979). Ces auteurs envisagent les changements liés à l'informatisation comme relevant d'une dialectique : "consolidation du modèle traditionnel", et remise en question de ce modèle. Selon eux, la remise en cause serait un point particulièrement important car, aux coûts sociaux et aux difficultés rencontrées lors de l'informatisation dans une optique de rationalisation du secteur tertiaire, succèdent de nouvelles stratégies "technico-organisationnelles", prenant en compte les demandes des employés. Ces stratégies n'ont pas un but philanthropique, mais visent à retrouver une efficacité perdue et une qualité de service amoindrie par l'informatisation. Par conséquent, il semble que la politique d'informatisation soit plus importante que l'informatisation en soi. Alsène (1990) nuance ce point de vue en soulignant que la technique incorpore une vision technique et sociale de ses concepteurs et qu'elle véhicule "un design organisationnel impli-

***L'informatique et l'organisation ne sont-elles pas soumises au même paradigme ?***

cite". Chanaron et Perrin (1986) ont développé ce problème différemment. Pour eux, la relation entre l'organisation du travail et la technologie ne serait ni univoque ni directe mais médiatisée par la science. Autrement dit, "les paradigmes d'une époque — la mécanique pour la révolution industrielle, l'informatique aujourd'hui — seraient-ils des clés pour comprendre l'ensemble des technologies y compris celles de l'organisation ? A la filiation mécanicienne du taylorisme correspondrait la filiation informaticienne des nouvelles formes d'organisation du travail". Ainsi, ils estiment que les modèles d'organisation médiatisés par l'informatique, fondés sur la circulation des informations, s'apparenteraient à des approches socio-techniques. Cette conclusion resitue le lien entre technologie et mode d'organisation, non plus au niveau d'une simple relation linéaire basée sur un déterminisme technologique oppressant, mais comme le produit d'un paradigme scientifique où se jouent des stratégies d'acteurs.

*Les impacts des technologies de la connaissance sur le travail sont très peu étudiés.*

Quant aux recherches portant sur l'introduction des systèmes à base de connaissances, peu d'entre elles se sont intéressées à leurs aspects socio-organisationnels. Les travaux de Senker (et al., 1989) comparent trois situations de travail où des opérateurs étaient confrontés à l'utilisation de systèmes experts. Ces auteurs montrent que les systèmes experts ont pour effet d'augmenter la partie du travail qui pouvait être automatisée. Un autre résultat de leur analyse est que les systèmes experts n'entraînaient pas un impact unique mais que leurs effets dépendaient des conditions socio-organisationnelles de l'implantation. D'autres études portant sur les aspects sociaux de l'intelligence artificielle, ont insisté sur les effets individuels et institutionnels de l'introduction d'applications dites "intelligentes". Dans cet ordre d'idées, Boden (1987) signale que l'image sociale du spécialiste peut être profondément affectée. Le grand public serait donc moins dépendant à l'avenir des experts humains qu'il ne l'est aujourd'hui, ce qui se traduirait par une diminution du pouvoir des experts. Boden voit également des changements dans la division sociale du travail et une augmentation possible du télétravail. S'intéressant à la robotique, Nagao (1987) fait remarquer que l'impact sera favorable aux petites et moyennes entreprises qui, grâce à l'achat de systèmes intelligents, pourront acquérir de nouvelles compétences sans être obligées d'embaucher des experts humains. En ce sens, l'introduction de l'intelligence artificielle dans les entreprises, sous la forme de systèmes "clé en main", devrait en faciliter la modernisation et augmenter la productivité en résolvant des problèmes auxquels elles n'avaient pas de solution "maison".

***En fait, une pensée technique de la conception domine.***

***La transition technologique est soumise à l'incertitude.***

En réalité, les études portant sur l'introduction des systèmes à base de connaissances en entreprise ont surtout mis en évidence les caractéristiques techniques d'un tel processus (Benchimol et al, 1986 ; Bonnet et al 1986) et s'inscrivent de ce fait dans une pensée technique de la réalité qui, tout en dissociant le facteur technique du facteur humain, considère implicitement la possibilité de transférer dans un système expert les opérations de l'expert humain. De la sorte, on estime que les systèmes experts pourront transformer le fonctionnement de l'entreprise en remplaçant un certain nombre de fonctions existantes par des machines. Mais, comme l'ont montré d'autres travaux (Sheil, 1988), l'intégration d'un système expert aux activités quotidiennes d'une organisation est beaucoup plus complexe qu'un remplacement pur et simple d'êtres humains par des mécanismes sophistiqués. Elle est le résultat de processus sociaux qui peuvent prendre la forme d'une expérimentation sociale (Sainsaulieu, 1982) dans laquelle se trouve engagée, à un degré plus ou moins prégnant, toute organisation ayant décidée de s'orienter dans une telle démarche. Une donnée essentielle va, de ce fait, articuler les processus de transition en mettant en évidence la dimension imprévisible des démarches engagées et des résultats escomptés. En effet, la difficulté centrale de la mise en place d'un système expert réside dans la maîtrise conjointe des données techniques, sociales et économiques en œuvre dans les situations de travail. Comme l'a indiqué Spérandio (1986), les méthodes de recueil d'expertises sont encore aujourd'hui mal connues et mal maîtrisées. Les phases de formalisation et de représentation des connaissances ne sont pas toujours bien menées. Socialement, il est difficile de prédire les conséquences humaines et organisationnelles de l'implantation d'un système expert. Economiquement, ces incertitudes rendent les estimations difficiles. Si on peut estimer le coût d'une maquette de système expert, le prix final d'un système opérationnel n'est jamais définissable a priori (Nassiet, 1987). Ces tâtonnements peuvent atrophier le principe de productivité souhaité par l'entreprise. En tenir compte oblige le cognicien à se préoccuper des changements technico-organisationnels dès le début de la mise en place du système. Sinon, l'implantation d'une nouvelle technologie risque d'augmenter les coûts sociaux (sabotage, refus, résistance des utilisateurs). Ainsi, pour réussir l'introduction d'une technologie nouvelle dans une organisation, il convient au préalable de comprendre et de canaliser les changements sociaux en identifiant les stratégies développées par les acteurs.

### 2.1.1.3. Les stratégies des utilisateurs par rapport à l'informatisation

*L'analyse stratégique nous montre que l'informatisation est le lieu de jeux d'acteurs.*

Tout projet d'informatisation s'inscrit par ailleurs dans une organisation qui reste un lieu habité par des individus qui vont développer diverses stratégies. Dès lors, les groupes en présence (les utilisateurs, l'encadrement, les dirigeants et les informaticiens) élaborent des stratégies individuelles et/ou collectives de résistance, de résignation ou encore d'acceptation, face aux nouvelles technologies. Tous ces acteurs jouent un jeu qui possède certaines règles. Comme le montre Alzera (et al., 1983) "en dernière analyse, les situations de travail constituent un point de rencontre, une résultante de stratégies d'action des acteurs en présence". L'informatisation est une situation qui n'échappe pas à cette règle. A chaque groupe d'acteurs -utilisateurs, encadrement, décideurs et informaticiens- de la situation correspond une stratégie qui se détermine par des considérations à la fois internes et externes au groupe.

*Quatre groupes d'acteurs sont en présence lors de l'informatisation.*

Ainsi, pour les utilisateurs directs de l'informatique, les facteurs pris en compte sont multiples et peuvent, individuellement ou collectivement, aboutir à une stratégie où interviennent alors plusieurs phénomènes. La stratégie des utilisateurs va être surtout marquée par la façon dont les employés utilisent leurs marges de liberté d'une part, et par l'imbrication très étroite de considérations économiques, sociales et techniques dans l'évaluation de leur travail d'autre part. Ceci amène à une stratégie dans laquelle le contenu des tâches, les salaires et les horaires ne sont pas distingués séparément dans les revendications. Les moyens de défense collective des employés, leur statut hiérarchique et leur formation marqueront la puissance de leur résistance. De plus, les informations qu'ils ont sur le projet informatique, leur donneront ou non les moyens de préciser leur stratégie. Dans une perspective plus sociologique, Alter (1985) a montré que les individus et les groupes s'emparent diversement des nouvelles technologies en fonction des stratégies d'autonomisation ou d'innovation qu'ils peuvent développer. Elles conduiront par exemple à une redistribution des zones de pouvoir entre les administratifs et les techniciens. Le statut de l'encadrement semble également remis en cause par l'informatisation : "parmi les perdants, il convient de ranger l'encadrement (moyen et petit) : sa position de relais dans la circulation de l'information devient moins stratégique, court-circuité qu'il est par le système technique" (Eksl et Solé, 1979). En effet, considérant que la principale fonction des cadres était le contrôle dans la transmission des informations, l'avenir de ces groupes est posé tant l'informatique leur enlève une

grande partie du terrain occupé (Grima, 1983). Pour le groupe des décideurs de l'informatisation, les soucis de rationalité économique sont les éléments moteurs de leur stratégie. Néanmoins, l'informatisation peut également correspondre à une opération de prestige qui s'apparente plus à une forme de productivité culturelle qu'économique. Toutefois, la grande autonomie d'action des décideurs leur donne des atouts suffisants pour imposer leurs choix (Denis, 1987). Quant aux informaticiens, leurs stratégies s'appuient sur l'originalité de leur pouvoir. En effet, "la source du pouvoir du service de traitement de l'information est liée à sa possibilité de bouleverser le travail des autres services sans que ceux-ci puissent exercer un contrôle en retour" (Balle et Peaucelle, 1972). En définitive, ces analyses stratégiques constatent et interprètent les stratégies des acteurs et expliquent, pour une part, les raisons du rejet ou de l'engouement de certains groupes d'individus pour l'informatisation.

*Le travail informatisé fait apparaître des stratégies opératoires permettant d'intégrer le fonctionnement des nouveaux outils.*

En dehors des travaux portant directement sur les stratégies d'acteurs sociaux, d'autres recherches, dont certaines déjà classiques, (Leplat, Enard, Weil-Fassina, 1970) ont pour objet les stratégies opératoires développées par ces acteurs. Ces recherches constatent que le travailleur apprend aussi en regardant travailler les autres et en s'exerçant lui-même dans l'équipe de travail. Il existe ainsi des habiletés résultant de savoir-faire acquis et qui peuvent, dans certains cas, être transposées dans d'autres. D'autres travaux ont davantage considéré les aspects cognitifs de la transmission des savoirs. Dans une étude portant sur la conception d'un système informatique interactif, Pinsky et Theureau (1982) ont par exemple étudié le raisonnement suivi par une opératrice dans son interaction avec l'ordinateur. Dans cette interaction, ils ont mis en évidence des ratés, donnant lieu à une incompréhension du fonctionnement, si on s'en tient au cadre "logique" du système. Devant cette situation "logique", mais comportant des "trous", l'opératrice a élaboré des raisonnements et des opérations qui sortaient des limites de la logique assignée par le fonctionnement. Or, c'est précisément "l'échec des efforts de logique" qui représente l'issue par rapport au fonctionnement du système. Les stratégies opératoires nouvelles développées par les individus au cours de la mise en place d'une nouvelle technologie, reposent sur des représentations que les individus ont du dispositif (De Montmollin, 1984 ; Leplat, 1985). Ces représentations se structurent sous forme de "modèles mentaux" (Norman, 1983), c'est-à-dire "ce que les gens ont réellement dans la tête et qui guide leur usage des choses". Dans cette perspective, les travaux de Greenfield et Lave (1982) ont mis en lumière que le transfert

*La régulation des perturbations engendrées par l'informatique est surtout réalisée grâce à l'acquisition de nouvelles compétences.*

d'habiletés acquises dans une situation donnée peut se formaliser en savoir et modèle mental, traduits dans de nouvelles compétences. Ces habiletés mentales peuvent être caractérisées en tant qu'activités ayant atteint un niveau élevé d'intériorisation et d'exécution dans un contexte inédit. Par ailleurs, les modifications intervenues au niveau des stratégies opératoires ont été interprétées par Leplat (1985) comme des modifications des représentations du système, aboutissant à une reconstruction mentale du fonctionnement.

Une autre perspective de recherche porte sur les mécanismes d'appropriation des nouveaux outils (Guillevic, 1988). L'acquisition de nouvelles compétences y est désignée en tant que processus de régulation des perturbations, que provoque dans l'activité de l'opérateur l'implantation d'un nouvel outil. Enfin, Pace (et al., 1982) définit le traitement des situations nouvelles par le concept "d'intelligence pratique" qui se caractérise par l'ensemble des moyens nouveaux permettant une adaptation satisfaisante sous la forme d'une utilisation de l'outil ; celle-ci se traduit notamment par une opérationnalisation de son fonctionnement.

En résumé, la transition d'un système de travail vers un autre, induite par une nouvelle technologie, apparaît comme une situation d'acquisition mentale, résultant à la fois du déterminisme technologique des nouveaux dispositifs, de l'expérience professionnelle acquise, des stratégies individuelles et collectives développées par les acteurs, et des stratégies opératoires fondées à partir de ce que les individus pensent de ce qu'ils font ou ont à faire.

#### 2.1.1.4. L'imaginaire face aux nouvelles technologies

*La technologie est une machine imaginaire.*

Des recherches ont tenté de comprendre la signification des techniques qui nous entourent et auxquelles nous accordons une place toujours plus grande. Il s'agit notamment des recherches portant sur l'imaginaire des individus en rapport avec les techniques de pointe (Gras et Poirot-Delpech, 1989). Breton (1989) a notamment montré, que les technologies nouvelles sont considérées comme des créatures artificielles qui illustrent la conscience que l'homme a de sa propre imperfection, et qu'il cherche à déjouer grâce à la technique. Basées sur une approche symbolique de la culture, ces études ont mis en rapport les mythes concernant les créatures artificielles, à l'instar du Golem ou de Frankenstein, et les technologies nouvelles qui visent à simuler les grandes fonctions humaines comme la motricité, la perception, le langage ou la cognition. Appliquée à l'organisation, cette approche permet de dégager un fonctionnement

mythique des entreprises, dont les expressions répandent une image valorisante ou dévalorisante aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'entreprise. Ces travaux partent de l'idée que "l'automate est une machine philosophique avant d'être un modèle scientifique, rationnel" (Beaune, 1980). Sous cet angle, l'implantation d'une technologie nouvelle, comme celle d'un système à base de connaissances, véhicule un imaginaire, remplissant une fonction dans l'entreprise, voire même, selon les termes d'Habermas (1973), une stratégie des Etats et/ou des institutions, qui, à travers la technique et la science, préparent les manoeuvres d'une manipulation idéologique.

En définitive, les recherches menées sur l'imaginaire des nouvelles technologies nous indiquent que les dispositifs de simulation du vivant ont une portée culturelle. Saisis par le spectre du Golem, de Frankenstein ou de Big Brother, les individus s'emparent des nouvelles technologies par un jeu de craintes et d'espoirs, formant une idéologie et une culture qu'ils intègrent dans leur travail quotidien.

### 2.1.1.5. Discussion

Au sens large, les analyses d'impact -qu'elles soient relatives au chômage, aux changements d'organisation du travail, aux stratégies collectives ou opératoires ou encore aux aspects culturels- constatent et interprètent les modifications socio-organisationnelles opérées par l'informatisation et expliquent, pour une part, les raisons du rejet de l'informatisation par certains utilisateurs. Elles démontrent avec force que la conception des outils n'équivaut pas à une conception applications pour les ordinateurs, mais pour les individus qui les utilisent. Concevoir, c'est modifier notre rapport à la nature en nous la soumettant. De ce point de vue, la technique peut être considérée comme un lieu de la pratique sociale (Roqueplo, 1983).

*Les nouvelles technologies sont des objets sociaux.*

Les technologies nouvelles modifient également notre rapport à la culture (Alter, 1985). L'intelligence artificielle en particulier, touche le coeur même du corps social en multipliant les possibilités des individus d'intervenir sur leur propre culture : elle accroît les capacités de l'homme d'agir sur son savoir et sur son savoir-faire. Ici s'opère une rupture sociale fondamentale qui banalise l'activité humaine, dans le sens où elle est plus ou moins intégrée aux nouveaux dispositifs. L'implantation des nouvelles technologies, en particulier celle des systèmes experts, est donc une atteinte aux modes classiques de connaissance et de reconnaissance sociale, qui se manifeste par :

- la capitalisation du savoir : le savoir, ou plutôt une de ses re-

- présentations est détenue par la machine ;
- la décentralisation des connaissances : davantage de personnes peuvent accéder à un savoir qui, jusqu'alors appartenait uniquement à des experts humains ;
- la formation pour tous sur son lieu de travail.

Ces postulats traduisent une conscience collective des effets potentiels de la technique et des orientations qu'elle suppose.

De la sorte, l'introduction des nouvelles technologies dans les entreprises implique un repositionnement des individus en termes de stratégies, d'identité et de culture. Le monde du travail est ainsi soumis à une dynamique du changement qu'il convient de comprendre pour faire coïncider changement technique et dynamique sociale.

## 2.1.2. Les aspects ergonomiques des communications homme-machine

*Le rejet de l'informatique provient également du manque de "convivialité" des logiciels.*

La pertinence des interprétations socio-économiques et psychosociologiques, ne rend pas compte de la totalité du rejet des nouvelles technologies. Comme le souligne Senach (1986), cette résistance s'explique également par le manque de compatibilité entre le logiciel, les procédures de travail et les caractéristiques mentales des utilisateurs. Alors que les informaticiens jugent la qualité d'un logiciel à partir de ses performances techniques, les utilisateurs l'apprécient en fonction de sa souplesse d'utilisation, de sa fiabilité, de son homogénéité et de sa compatibilité avec leur mode de raisonnement (Piganiol, 1984 a et b).

*Le travail est réalisé dans l'espace virtuel que constitue l'interface.*

L'informatisation opère un bouleversement des caractéristiques du travail. Le travail a changé non seulement dans son contenu mais également dans sa forme, dans le sens d'une augmentation des interfaces entre l'homme et son travail informatisé. Les interfaces sont les dispositifs logiciels et matériels qui assurent le transfert d'informations entre l'utilisateur et l'ordinateur. Grâce à l'interface, l'utilisateur peut communiquer avec le reste du programme. L'affluence des minitels, des distributeurs de billets, des ordinateurs, des guichets automatiques... montrent à quel point les interfaces se multiplient dans notre vie quotidienne. Ce sont les tâches d'interaction qui deviennent prépondérantes. Beaucoup de situations de travail reposent sur le principe d'interactivité. Ainsi, le travail d'une secrétaire ne consiste plus seulement à taper un texte, mais de manipuler des informations, des commandes et des documents,

grâce à des interactions avec le logiciel. Pour une part de plus en plus significative, le travail devient ce qui se passe dans l'espace virtuel créé par l'interface. Autrement dit, le travail est un processus et un résultat d'interactions répétées avec des machines.

Les techniques nouvelles accroissent ces tâches d'interaction. L'interface est le lieu où se focalise un grand nombre de problèmes rencontrés par les utilisateurs. Pour les psychologues, médecins du travail et biomécaniciens, cette interface homme-ordinateur a fait apparaître la question de la compatibilité entre les caractéristiques matérielles et logicielles de l'ordinateur et les caractéristiques physiologiques et mentales de l'opérateur humain. Ainsi, les premières études concernant la charge de travail sur terminal ont cherché d'une part, à préciser les facteurs de contrainte liés à la tâche, à l'environnement et au poste de travail, et d'autre part à évaluer les astreintes : fatigue visuelle, fatigue posturale ou charge psycho-sensorielle (Floru et Cail, 1986). D'autres travaux s'orientent plutôt vers la recherche de la compatibilité du logiciel avec les modes de raisonnement de l'utilisateur. C'est cet axe d'étude qui aborde d'une façon centrale le problème des interactions homme-machine, que nous allons maintenant relater.

***L'objectif de l'ergonomie des logiciels est d'adapter l'ordinateur à l'homme.***

D'une manière large, les interactions homme-machine ont été étudiées dans le cadre de recherches ayant trait à l'ergonomie des logiciels. Pour Le Bourgeois et Valentin (1986), "l'ergonomie des logiciels a pour objectif de permettre une meilleure adéquation des programmes informatiques aux besoins réels des utilisateurs". Bisseret (1982) précise et affine cette définition en considérant l'ergonomie des logiciels comme "l'adaptation du logiciel à l'utilisateur en tant qu'il traite de l'information. En d'autres termes, l'objectif est d'adapter les comportements de l'ordinateur, c'est-à-dire ses manifestations externes, au fonctionnement cognitif de l'utilisateur dans le sens évidemment d'une assistance la plus efficace et la moins contraignante possible. La finalité de l'ergonomie des logiciels devient alors "d'apporter aux informaticiens des connaissances sur la manière dont «fonctionne» un sujet donné sur le plan intellectuel dans une classe de problème donnée" (Bisseret, 1985) ; ceci afin de fournir aux utilisateurs des informations significatives et pertinentes. Plus globalement, l'ergonomie des logiciels se définit comme étant la discipline étudiant la conception et l'utilisation des interfaces homme-ordinateur, dans le but de permettre la meilleure compatibilité possible entre les utilisateurs, leurs tâches et les logiciels, afin de prévenir les défaillances du système homme-machine et de garantir un dialogue adapté.

A présent, il s'agit pour nous de comprendre comment cette compatibilité communicationnelle a été recherchée, modélisée puis implantée en machine afin d'optimiser les dialogues homme-logiciel. D'une manière générale, la compréhension des interactions homme-ordinateur s'est développée selon deux axes de recherches complémentaires :

- les recommandations ergonomiques ;
- la modélisation de l'interaction homme-ordinateur.

### **2.1.2.1. La conception des interactions homme-ordinateur envisagée comme l'application de recommandations ergonomiques**

*Il s'agit de préconiser des aménagements ergonomiques de l'interface.*

Le premier axe de recherche concerne les recommandations ergonomiques de la conception des interfaces utilisateur. Dans ce cadre, il s'agit de fournir aux concepteurs et programmeurs des préconisations sur la façon de réaliser une interface utilisateur. Ces recommandations constituent un ensemble de résultats, d'analyses, voire de théories, issus de travaux de laboratoires et de terrain. Elles représentent un système d'aide à la conception en fournissant des caractéristiques de l'interface qui soient adaptées, ou mieux adaptables à un grand nombre d'utilisateurs. Leur apport essentiel est de donner aux informaticiens des connaissances sur la manière dont "fonctionne" l'utilisateur lorsqu'il se trouve dans une situation d'interaction avec un ordinateur, où interviennent des dispositifs d'entrée et de sortie d'informations, des modes d'échanges d'informations et le contexte de son travail. L'étude des recommandations ergonomiques s'apparente à la recherche d'éléments de l'interaction homme-machine capables de définir des indicateurs de ce qu'il faut ou ne faut pas faire en matière de conception d'interfaces.

Les travaux étudiant l'interaction homme-machine sous l'angle des recommandations sont nombreux, ce qui occasionne une inflation de ces préconisations. Beaucoup d'articles traitent en effet d'aspects précis et circonscrits des interfaces utilisateurs, comme par exemple la lisibilité des caractères sur écran, la facilité d'utilisation de certains types de claviers... Les synthèses de ces travaux, réalisées par Brown (1988), Shneiderman (1987), Valentin et Luconsang (1987), présentent généralement les recommandations en fonction de divers thèmes techniques. Y sont présentés les bonnes et mauvaises façons de concevoir un menu, une boîte de dialogue, un manuel utilisateur, une grille de saisie... D'autres études ont cherché à apprécier la

qualité d'une interface à partir de divers critères comme la consistance, l'homogénéité, la fiabilité, la convivialité, la facilité d'utilisation, l'adaptabilité (Scapin, 1985, 1988). Dans cet ordre d'idées, Streitz (1987) a développé la notion de "compatibilité cognitive" entre l'homme, la tâche et le logiciel. Pour lui, la principale recommandation ergonomique est de s'assurer que l'interface est compatible avec les caractéristiques de l'utilisateur et de sa tâche. Sous cet angle, la compatibilité propose une métrique de conception des interfaces : plus un système sera compatible, moins la notion de désaccord entre les modèles de connaissances en jeu sera marquée. Autrement dit, moins il y aura de divergence entre le logiciel, l'utilisateur et la représentation que l'utilisateur a du logiciel, plus le système sera orienté utilisateur.

*La compatibilité peut être recherchée aux quatre niveaux de l'interaction homme-logiciel.*

A partir de la conceptualisation de Streitz, nous avons proposé (Brangier, 1990) une fédération des recommandations ergonomiques, placée sous l'égide de la compatibilité, en montrant que la compatibilité homme-logiciel peut être recherchée aux différents niveaux de l'interaction, c'est-à-dire au niveau moteur (ergonomie de la saisie des informations), au niveau perceptif (ergonomie de la présentation des informations à l'écran), au niveau linguistique (ergonomie de la forme et du contenu du dialogue) et au niveau global de l'activité de l'utilisateur (ergonomie des dispositifs de compréhension du logiciel et d'assistance à l'utilisateur).

Ce premier axe d'étude - les recommandations ergonomiques - considère qu'un dialogue homme-machine sera d'autant plus adapté que des recommandations concernant les plus grands dénominateurs communs entre l'utilisateur, la tâche et le logiciel seront implantés dans l'interface. Il n'en demeure pas moins que les recommandations ne constituent pas un modèle et encore moins une méthode de conception des interactions homme-machine. Elles permettent cependant de justifier des choix de conception du contenu et du contenant d'un dialogue interactif, en fournissant une métrique de conception, d'évaluation et de maintenance des interactions homme-logiciel.

Ainsi, la conception des interactions homme-ordinateur envisagée comme l'application de recommandations ergonomiques estime qu'une interface est adaptée lorsque les préconisations sont respectées.

## 2.1.2.2. La conception des interfaces utilisateur comme modélisations d'interactions homme-ordinateur

*Il s'agit de définir des modèles de fonctionnement de l'utilisateur.*

Le second axe de recherche portant sur les interactions homme-logiciel a mis en évidence deux types de données à propos des connaissances de l'utilisateur. Premièrement, les utilisateurs ne sont pas passifs, mais interagissent dynamiquement avec l'interface. Ils ont des objectifs, des intentions et font des inférences et des anticipations à partir et sur le fonctionnement de l'interface. L'utilisateur n'interagit pas directement avec le logiciel mais avec le modèle qu'il se construit du logiciel. Secondement, les erreurs d'utilisation ne peuvent pas être comprises comme étant dues au hasard, à des limitations de la capacité de la mémoire à court terme ou à une inattention. Elles doivent être vues comme une inadéquation fonctionnelle des caractéristiques cognitives de l'utilisateur et des caractéristiques de l'interaction. En d'autres termes, une erreur s'explique principalement par une incompatibilité entre les connaissances évoquées par l'utilisateur et le modèle d'interaction inférable à partir des caractéristiques physiques du système. Pour ces deux raisons, le point de passage obligé de la conception de dialogues interactifs réside dans la prise en compte par le concepteur des connaissances qui constituent le modèle mental de l'utilisateur. En effet, les caractéristiques des connaissances et la façon dont elles sont activées, conditionnent l'interaction utilisateur-ordinateur. Dans cette perspective, Norman (1983) a développé la notion de "modèle mental" du système et de la tâche. Il l'oppose au modèle conceptuel. Ce dernier est conçu à l'instar d'une structure décrivant la tâche de l'utilisateur et permettant la compréhension et l'apprentissage des caractéristiques du système physique. Si en ergonomie des logiciels, la conception d'une interface passe nécessairement par l'appréhension d'un modèle mental, il faut également admettre qu'il est plus aisé, cohérent et opérationnel, de concevoir un modèle du système conceptuel de l'utilisateur, en clair un modèle utilisateur. D'ailleurs, l'opinion qui prévaut consiste à centrer la conception sur la construction d'un modèle utilisateur satisfaisant, en supposant que l'élaboration d'un modèle mental correct suivra (Manktelow et Jones, 1987).

Plusieurs modèles ont été mis au point par les ergonomes, psychologues et informaticiens pour appréhender le problème de la conception des interfaces homme-machine. L'interaction homme-logiciel a été décrite aussi bien dans les termes de la psychologie que de ceux de l'informatique. Les modèles informatiques ont axé leurs investigations sur l'implémentation d'outils de conception des inter-

faces et ont cherché à définir les propriétés techniques des interfaces adaptées aux utilisateurs et à leur travail. Les boîtes à outils (Coutaz, 1988), générateurs d'interfaces (Betts et al, 1987 ; Blavier, 1988 ; Coutaz, 1990 ; Green, 1985, Hudson, 1987, Manheimer et al, 1989 ; Myers, 1987, Sibert et al, 1985 ; Singh et Green, 1989 ; Wellner, 1989) et interfaces intelligentes (Elkerton et Williges, 1989 ; Hancock et Chignell, 1989 ; Wahlster, 1988) s'inscrivent dans ce paradigme et ont pour objectif de satisfaire les exigences des programmeurs d'implémenter rapidement une première version de l'interface utilisateur. A l'inverse, les modèles psychologiques se sont centrés sur la compréhension des processus cognitifs en jeu dans l'interaction, et n'ont que trop peu étudiés les exigences pratiques de leur implémentation en machine. Néanmoins, les bases théoriques de ces modèles offrent un guide de compréhension et de conception des interactions homme-ordinateur.

Ces modèles d'interaction homme-machine peuvent être classés en trois catégories.

#### 2.1.2.2.1. Les modèles orientés "couches"

*La conception d'interfaces est vue comme un processus hiérarchique.*

Les modèles orientés "couches", tels que les Command Language Grammar -CLG- (Moran, 1981) ou le Goal Operators Methods Selection rules -GOMS- (Card, Moran, Newell, 1983) abordent l'interaction homme-machine sous l'angle d'une segmentation en plusieurs niveaux. La conception des interfaces est envisagée comme un processus hiérarchique décomposant la couche la plus abstraite du travail de l'utilisateur en une succession de couches de plus en plus concrètes, spécifiant à terme les caractéristiques physiques de l'interaction homme-ordinateur (comme par exemple, le design des dispositifs d'entrée et de sortie, la signification des commandes, ou encore la segmentation de l'écran en aires de travail...). Ainsi, ces modèles considèrent la conception comme un processus descendant et occultent, plus ou moins fortement, le fait que la conception soit en réalité un processus itératif.

#### 2.1.2.2.2. Les modèles orientés "action"

*L'action est une forme de cognition.*

Les modèles orientés "action" envisagent la conception en considérant que l'homme crée et modifie son environnement par ses actions. L'action est une forme spécifique de la cognition par laquelle nous nous engageons dans le monde qui nous entoure, nous l'interprétons et nous le façonnons. Trois types de travaux ont été conduits dans ce sens.

***L'action permet la traduction de données physiques en données psychiques et inversement.***

La théorie de l'action (Norman, 1986) part de l'idée selon laquelle la différence de représentation existant entre le monde physique réel et l'univers cognitif du sujet l'oblige à traduire le monde qui l'entoure. Un utilisateur travaille avec des objectifs et des intentions. Il s'agit de variables psychologiques, qui sont localisées dans le système cognitif de l'individu. Cependant, la tâche informatisée est toujours exécutée dans un système physique, selon des procédures opératoires qui résultent de l'interprétation que l'utilisateur fait des variables physiques du système en fonction des objectifs qu'il s'est fixé. Ceci revient à souligner l'importance de l'étape d'interprétation, qui met en rapport les variables physiques et psychologiques. De ce point de vue, la tâche est analysée selon un processus d'exécution et d'évaluation de l'action, et peut être approximée par sept étapes correspondant à l'activité de l'utilisateur (élaboration d'un but, formation d'une intention, spécification d'une séquence d'actions, exécution des actions, perception de l'état du système, interprétation de l'état du système, évaluation de l'état du système par rapport au but qui était fixé). La théorie de l'action se propose de fournir un modèle pour saisir comment cette transition d'états est réalisée par l'utilisateur. Elle a pour but d'analyser et de comprendre le processus de traduction qui sous-tend le comportement de l'utilisateur. La théorie de l'action considère donc que les objectifs de l'utilisateur sont exprimés dans des termes qui sont pour lui pertinents, c'est-à-dire en des termes psychologiques, et que les états du système sont exprimés en ses termes propres, c'est-à-dire des termes physiques. Ceci amène Norman à distinguer l'état effectif de l'état perçu. L'état effectif est une fonction relative à des variables physiques formant le modèle conceptuel du système. L'état perçu correspond à la traduction de l'état effectif sous la forme d'une représentation mentale de l'utilisateur. Par conséquent, selon ce modèle, la divergence entre les variables psychologiques et physiques correspond au principal problème de la conception et de l'utilisation des systèmes interactifs.

***ACT\* est un modèle d'architecture cognitive prenant en compte l'action***

Alors que la théorie de l'action manque d'une formalisation qui soit applicable à la conception des dialogues homme-machine, ACT\* (Anderson, 1983, 1989) définit un formalisme de conception qui s'appuie sur les travaux effectués dans le domaine des sciences cognitives à propos des systèmes simulant des connaissances humaines. ACT\* vise ainsi à déterminer un modèle de fonctionnement de la mémoire de l'utilisateur tout en essayant d'appliquer ce modèle à l'apprentissage, à la représentation des connaissances ou encore à l'interaction homme-ordinateur. En ce sens, ACT\* ne s'attache pas

particulièrement à la conception des interactions homme-logiciel, mais offre une théorie de l'architecture de la cognition humaine, dont les principes sont, quant à eux, généralisables à la conception de systèmes informatiques où intervient une modélisation des raisonnements et/ou des comportements humains. Cette théorie a été appliquée avec succès à la conception de modèles de simulation. Il s'agit, par exemple, d'un didacticiel intelligent d'apprentissage du langage Lisp, "The lisp tutor" ou de menus (Kühn et Streitz, 1989).

*L'interaction homme-logiciel s'apparente à une conversation.*

Il existe enfin les modèles ayant mis en relation les théories de la conversation et celles de l'action. Winograd et Flores (1989) font remarquer que les "«choses» que l'on appelle «logiciel», «interface» ou «interaction avec l'utilisateur» sont des exemples évidents d'entités dont l'existence et les propriétés sont produites dans le langage et l'engagement de ceux qui les construisent et en discutent". Ils évoquent la Xerox Star et le Macintosh en tant qu'exemples caractéristiques de la "simplicité ontologique" d'utilisation. La modélisation des interactions qu'ils proposent, "Conversation for action", est vue sous l'angle d'une conversation entre deux interlocuteurs. L'un des deux étant en situation de demandeur d'informations ou de ressources pour satisfaire sa tâche, l'autre en situation de fournisseur (serveur d'informations, base de données, etc). Au cours d'une conversation, les rôles peuvent changer selon son contexte et ses exigences. La conversation a une structure qu'il convient de respecter lors de la conception des dialogues homme-machine. Elkerton (1987, cité par Rialle, 1988) a montré qu'une application de ce modèle à l'interaction homme-logiciel est possible. Dans ce cas, les échanges, demandes-réponses, sont mémorisés et leur analyse par le logiciel et par l'utilisateur permet une compréhension optimale du dialogue, et surtout l'accomplissement de la tâche du demandeur. Si Winograd et Flores (1989) soulignent la relation fondamentale existant entre le langage et l'action réussie, ils oublient cependant que l'action est toujours située, contextualisée, et que cette contextualisation de l'action nous renseigne également sur la qualité des interactions que nous pouvons concevoir. C'est justement cette relation entre l'action et la situation que Suchman (1987) a étudiée. Ce chercheur applique au problème de l'interaction homme-machine les principes de l'éthnométhodologie, c'est-à-dire qu'elle cherche à comprendre les situations où se construisent des régularités dans les interactions homme-logiciel. Alors que de nombreuses recherches menées dans le domaine de l'intelligence artificielle indiquent que l'organisation et la signification de l'action humaine dépendent de l'élaboration mentale de plans et/ou de représentations, Suchman montre que le déroulement d'une

action peut toujours être projeté et reconstruit dans les termes d'intentions précédentes et de situations typiques ; elle parle alors d'action située. Dans cette acception, les plans et les représentations sont des produits de l'action située. "Par situation, on doit entendre un complexe de ressources et de contraintes, qui peuvent toutes le cas échéant jouer un rôle significatif sans pour autant que ce rôle soit nécessairement réductible à un jeu de représentations mentales préalablement objectivées dans les appareils cognitifs" (Visetti, 1989). La cohérence de l'action située est liée pour l'essentiel, non pas à des prédispositions individuelles ou à des règles conventionnelles, mais à des interactions locales contingentes des circonstances particulières où se trouve l'utilisateur. Ainsi, Suchman identifie une source du problème de l'interaction homme-machine : ce ne sont pas des plans qui guident l'action des utilisateurs, mais des interactions locales de l'utilisateur avec son environnement de travail. En conséquence, les plans doivent être davantage compris comme des ressources pour l'action que comme des structures de contrôle de l'action. Kitajima (1989) reprend cette notion d'interaction locale en proposant un modèle formel de représentation de la compréhension d'un utilisateur interagissant avec un logiciel. De même, Frohlich et Luff (1989) cherchent à définir un schéma de gestion locale des dialogues basé sur les travaux menés en analyse de la conversation. Ce schéma met à la disposition de l'utilisateur et du système une variété de ressources communicatives, incluant notamment la capacité à donner et à prendre tour à tour la "parole", à initier et à réaliser le travail, ou encore à continuer ou à changer le sujet de la conversation. Sur cette base, ils réalisent un système de conseil en matière juridique, et témoignent ainsi de la faisabilité d'une implémentation d'un modèle d'interaction homme-machine basé sur une gestion locale du dialogue, c'est-à-dire sur une production en situation des actions. Leur recherche rappelle les travaux de Rastier (1988) lorsqu'il énonce les facultés dialogiques que nous pouvons exiger d'un système à dialogue évolué. Pour ce chercheur, un tel dialogue doit être en permanence capable de formuler trois types de propos : (a) sur ses propres connaissances, (b) sur les propos de l'utilisateur, (c) sur ses propres propos. D'une façon générale, les modèles de la conversation conjugués à l'action ont pour objectif la mise en évidence des phases de réalisation d'une tâche, et des conditions de compréhension nécessaires à la communication entre deux participants, l'un humain l'autre technique, dotés de facultés pour le premier et de dispositifs de compréhension et d'action pour le second. La tâche d'interaction est donc soumise aux principes d'une théorie de la conversation permettant de développer la compétence communicative du système homme-ordinateur. Ici réside

l'intérêt de ces modèles ; ils intègrent une dimension longterm oubliée des sciences de la conception : la conversation. Néanmoins, ces modèles ne fournissent pas un guide de conception, et se limitent à appliquer, un peu rapidement et sans grande précaution, les structures des conversations homme-homme au dialogue homme-machine, alors que, comme l'ont montré Falzon (1987), Luzzati (1987), Meunier et Morel (1987), et Amalberti (et al., 1988), les caractéristiques des dialogues sont modifiées dès le moment où l'individu est placé en situation de communication avec une machine.

### 2.1.2.2.3. Les modèles orientés "tâche"

*L'objectif de l'interaction homme-logiciel est la réalisation d'une tâche.*

Ces modèles insistent sur une description formelle de la tâche de l'utilisateur car c'est de l'élaboration d'un modèle de la tâche que dépend la conception de la tâche informatisée, son implémentation en machine et l'acceptabilité du logiciel par les utilisateurs. Nous présenterons deux modèles très différents l'un de l'autre.

*TAG propose une grammaire formelle de tâches.*

Task-Action Grammar -TAG- (Payne et Green, 1989), propose une description des tâches d'interaction en fonction d'une grammaire formelle. Ses auteurs soutiennent l'idée que pour évaluer la facilité d'utilisation des ordinateurs, il est nécessaire d'analyser les connaissances requises par l'utilisateur pour atteindre son objectif de tâche avec succès. Pour Payne (1984) et Payne et Green (1989), un composant important de cette connaissance est le langage de la tâche, c'est-à-dire le langage utilisé dans la réalisation d'une tâche, qu'il soit lexical comme dans l'utilisation d'un langage de commande, ou pratique comme dans l'utilisation d'un dispositif de sélection d'item. Dans le but d'analyser le langage d'une tâche, ces auteurs ont défini une sorte de métalangage, TAG -Task-Action Grammar-, au sein duquel ils ont spécifié une grammaire d'action de tâches. TAG prend ainsi la forme d'une grammaire qui permet la traduction de "tâches simples" en des spécifications d'actions. Notons encore que TAG est un élément représentatif d'un courant théorique de description formelle des tâches d'interaction homme-machine auquel s'apparentent les travaux de Brewer et Dupree (1983) et Sugagya (et al, 1984).

*MAD vise à décrire des tâches de bureau.*

La "Méthode Analytique de Description des tâches orientée conception d'interfaces utilisateur" -MAD- (Scapin, 1988), consiste en un outil formel de description de tâches. MAD présuppose qu'un modèle d'interaction facilement utilisable pourrait être celui où l'utilisateur pourrait anticiper ses procédures, ses actions et ses buts

futurs à partir d'une planification hiérarchique de la tâche. Fondée sur le concept de la planification hiérarchique, MAD définit ainsi la réalisation d'une tâche par la transformation d'un état initial en un état final. Pour ce faire, MAD prend en compte de nombreuses caractéristiques conceptuelles de la tâche et de l'opérateur, procède par découpage des tâches en sous-tâches ou sous-buts et aboutit à un modèle formalisant les tâches et prévoyant les interactions.

Généralement les modèles orientés "tâche", tels que TAG (Payne et Green, 1989), -TAKD- Task Analysis for Knowledge based Description, (Johnson et al, 1984), -UAN- User Action Notation (Siochi, 1989), et MAD (Scapin, 1988), conçoivent la cognition comme la manipulation de symboles qui peuvent être spécifiés par un langage formel ; et conjointement, l'action est vue comme isomorphe au processus cognitif. Dans cette acception, le processus cognitif correspond à l'alliance d'une logique formelle à une linguistique des tâches. Du coup, la décomposition des tâches en données linguistiques conduit à penser que ces données, ou au moins certaines d'entre elles, sont des supports de l'élaboration et de la réalisation de plans. Cette causalité stricte entre la description sémantique des tâches et la planification hiérarchique, est sans aucun doute séduisante car elle laisse entendre qu'une description fonctionnelle de la cognition est suffisante pour comprendre les comportements de l'individu et pour les simuler. Or, il se peut très bien, comme le souligne Suchman (1987), que nos actions ne soient pas toujours planifiées et donc qu'elles soient construites en fonction des circonstances particulières essentielles à leurs déterminations.

En guise de conclusion, soulignons que la conception des interfaces utilisateur comme modélisations d'interactions homme-ordinateur estime qu'une interface est adaptée lorsqu'un bon modèle de l'utilisateur a été spécifié, validé et implémenté en machine. Les formes physiques avec lesquelles l'utilisateur interagit ne sont que les éléments visibles d'un modèle. De ce fait, l'interaction avec les formes physiques de l'interface n'est qu'un moyen pour l'utilisateur d'interagir avec la modélisation implantée en machine. Sous cet angle, une interface fonctionne de manière appropriée lorsque la modélisation implantée dans l'interface représente de façon adéquate la logique interne de l'utilisateur et que le dialogue interactif aboutit à une solution efficace pour lui.

### 2.1.2.3. Discussion

*L'informatisation correspond à une modification des possibilités opératoires des utilisateurs.*

Les recherches menées en ergonomie des logiciels nous indiquent que la mise en place d'un logiciel correspond à une modification des possibilités d'action des utilisateurs sur leur travail. Cette dernière les conduit à développer des modes opératoires plus ou moins bien adaptés à ce que l'on attend d'eux. Pour l'ergonomie des logiciels, les difficultés rencontrées par les utilisateurs ne proviennent pas d'inattention ou d'inaptitude des hommes, mais de l'inadéquation des interfaces avec leurs caractéristiques psychologiques. Dans ce sens, la conception des dialogues renvoie à l'apprentissage de l'utilisateur. Elle doit donc prévoir et intégrer la façon dont l'utilisateur s'y prend pour apprendre le fonctionnement de l'outil conçu. De ce fait, la psychologie et plus encore l'ergonomie, trouvent leur utilité dans la conception des interactions homme-ordinateur. Ces disciplines deviennent ainsi des sciences et technologies de la cognition et de la communication à part entière.

En effet, la complexification de la technique a entraîné une modification profonde des tâches de conception. Actuellement, l'ingénieur ne conçoit plus seulement des systèmes palliatifs mais aussi des systèmes coopératifs. Par systèmes palliatifs, nous entendons des dispositifs techniques qui remplacent certains comportements en facilitant les actions de l'homme. Il s'agit par exemple d'un pont pour traverser un ruisseau, d'une barque pour franchir une rivière, d'un bateau pour traverser un lac, ou encore d'un avion pour survoler un océan. L'évolution des moyens de locomotion est fortement marquée par cette logique du palliatif, tout comme l'est celle de l'architecture, de la pharmacologie, de la chimie... En définitive, la technique a surtout produit des objets palliatifs. Par systèmes coopératifs, nous entendons les dispositifs techniques conçus dans le but de collaborer avec l'opérateur humain. Ces systèmes intègrent de façon plus ou moins pregnante une modélisation des comportements et/ou des raisonnements de l'opérateur humain. Généralement la distinction n'est pas stricte entre le palliatif et le coopératif. Tous les systèmes coopératifs possèdent effectivement une dimension palliative, mais la réciproque n'est pas vraie. Par exemple, les distributeurs de billets de banque visent au remplacement des guichetiers, mais dans le même temps, ils sont conçus pour coopérer avec les clients. Leur efficacité dépend donc d'abord de l'acceptation par le client de cette technique. Ainsi répétons nous, concevoir des logiciels ce n'est pas concevoir des applications pour des ordinateurs, mais c'est concevoir ce que les gens vont faire avec elles. Autrement dit, il faut comprendre ce que les machines font, et

pas seulement comment elles fonctionnent. Faire apparaître des possibilités structurées d'utilisation (Winograd et Flores, 1989) représente précisément le travail de conception.

### 2.1.3. Conclusions et orientations de recherche

Les sciences et techniques de la cognition perturbent le monde du travail, tant du point de vue de son contenu, de son organisation que de sa conception. Cette perturbation tend à placer l'homme, et non plus la technique, au centre de la conception. C'est une nouvelle façon de voir les techniques avancées, dont la psychologie et l'ergonomie doivent tirer les conséquences pour répondre aux demandes sociales concernant l'amélioration des conditions de réalisation du travail. Sous l'effet des sciences et technologies de la cognition, les champs de la psychologie du travail et de l'ergonomie ne changent pas fondamentalement, mais elles tendent à se positionner de plus en plus comme des sciences de la conception à part entière, et à aborder les problèmes du travail selon un registre cognitif, c'est-à-dire centré sur les problèmes de modélisation de la cognition et de la communication.

La présentation des différentes directions de recherches menées sur les impacts des nouvelles technologies sur le travail ainsi que celles conduites sur les communications homme-machine, témoignent d'un croisement des plus fructueux entre l'informatique et la psychologie. Alors que l'approche psychosociale fournit un modèle de compréhension des organisations sociales lorsqu'elles sont saisies par la technique, l'ergonomie des logiciels définit des modèles de la communication entre un utilisateur et une machine. En amont de ces deux démarches se situe un autre problème, à savoir la conception d'applications intelligentes, c'est-à-dire la modélisation et la simulation de la cognition.

La mise en place d'un système à base de connaissances dans une entreprise est sans conteste, une situation idéale pour étudier à la fois :

- les impacts psychosociaux sur le travail ;
- les exigences ergonomiques d'une interface adaptée aux besoins réels des utilisateurs ;
- et l'activité de prise de décision d'un expert humain.

**Notre domaine de recherche est celui de la modélisation de la cognition.**

Pour notre part, nous avons choisi de restreindre ce champ d'étude à la modélisation et à la simulation de la cognition. Ainsi, dans une démarche se voulant principalement psychologique et ergonomique, mais reconnaissant volontiers que ces deux disciplines sont traversées par des courants théoriques d'autres sciences comme l'informatique, la logique, la sociologie et la linguistique, l'objectif de cette recherche sera de conduire et d'analyser une situation de recueil d'expertise dans un double objectif : celui de modéliser la cognition et celui de concevoir un système expert simulant cette cognition. En accord avec Richard (1990), "la modélisation consiste à passer d'une description des processus cognitifs faite dans le langage de la théorie psychologique à une expression dans le langage formalisé qui permet le calcul ou la simulation". Plus particulièrement, la modélisation de la cognition ne peut être réalisée que sous deux conditions (Richard, 1990) :

- "il faut disposer de formalismes adaptés, qui n'obligent pas à trop appauvrir ce que l'on veut exprimer ;
- il faut avoir explicité la description des processus psychologiques à un niveau de précision suffisant pour que cette description soit complète et qu'il n'y ait rien de plus à y ajouter pour qu'elle engendre des comportements simulés, qu'on puisse comparer aux comportements observés."

A cette fin de modélisation, nous allons définir dans le paragraphe suivant les caractéristiques de la cognition qui nous préoccupe ici : l'expertise.

---

## **2.2. L'EXPERTISE ET SON RECUEIL**

---

Nous fixerons nos orientations de recherche en définissant l'expertise et le recueil d'expertise. Puis nous identifierons plus particulièrement les contraintes au recueil d'expertise tout en soulignant avec force que le recueil d'expertise est le "goulot d'étranglement" de la conception des systèmes experts. Ensuite, des précisions sur les techniques de détermination des connaissances nous conduiront à envisager les différents moyens d'élaborer un modèle d'expertise, de l'implémenter et de le valider.

### **2.2.1. L'expertise**

D'une façon générale, l'expertise est une forme de connaissance

mêlant un savoir **théorique** acquis de façon académique à un savoir **d'expérience** acquis par la pratique professionnelle. Les deux sont utilisés par un individu dans le traitement d'un problème qui lui est posé afin de prendre la décision la meilleure possible pour lui et/ou l'institution qu'il représente. De cette manière :

Expertise = Connaissances (théoriques + pratiques).

*L'expertise est une somme de connaissances privées et publiques.*

Outre la conjonction d'un savoir théorique et d'expérience, l'expertise se caractérise par une configuration de connaissances accumulées par un individu. Plusieurs typologies de ces connaissances peuvent être ainsi faites. La première caractérise l'expertise par son accessibilité, et distingue :

- (a) les connaissances publiques, qui font partie d'un savoir de spécialistes et sont souvent disponibles à travers diverses publications ;
- (b) les connaissances privées, issues d'expériences personnelles, et spécifiques d'apprentissages professionnels effectués sur le "tas". Dans ce cas, elles sont rarement publiées, et leur recueil est difficilement verbalisable. Elles peuvent être à la fois inconscientes (l'expert ne sait pas lui-même qu'il les détient et les utilise dans sa prise de décision), rares (l'expert est le seul dans l'entreprise à les posséder et il tire de cette maîtrise du savoir son pouvoir et son identité dans l'organisation) et confidentielles (l'expert dispose de connaissances qui sont stratégiques pour son entreprise, et bien qu'en ayant conscience, il ne sera pas enclin à les diffuser).

La première typologie des connaissances établit donc l'équation suivante :

Expertise = Connaissances (publiques + privées)  
où, Connaissances privées = Connaissances (inconscientes+rares+confidentielles)

*L'expertise est encore une configuration de concepts et de raisonnements.*

La deuxième typologie insiste sur les connaissances activées lors d'une prise de décision et opère le clivage entre les raisonnements et les concepts :

Expertise = Raisonnements + Concepts.

Cette typologie des connaissances en jeu dans l'expertise peut être précisée par les six types de connaissances s'exprimant dans un contexte de travail donné.

- (a) Les connaissances conceptuelles sont les représentations mentales d'un objet, elles sont relatives à une construction cognitive.

- (b) Les connaissances catégorielles prennent la forme de qualité attribuée aux connaissances conceptuelles. Ce sont des classes dans lesquelles sont rangés des objets de même nature. Les connaissances catégorielles font apparaître des notions de relations (hiérarchisation, héritage de propriétés...) entre les concepts.
- (c) Les connaissances heuristiques servent à la découverte de nouveaux faits. Elles prennent la forme de raisonnements tenus par les individus.
- (d) Les connaissances procédurales constituent les règles d'organisation liées à une démarche heuristique. Il s'agit d'un ensemble de règles et de formalités mises en oeuvre par le sujet afin de parvenir à une solution. Elles concernent en quelque sorte les méthodes de résolutions, plus ou moins ordonnées, permettant à l'individu de prendre sa décision.
- (e) Les connaissances factuelles représentent ce qui existe réellement, c'est-à-dire les événements matériels. Ce sont les connaissances relatives à des faits.
- (f) Les connaissances déclaratives permettent d'énoncer un jugement sur les autres types de connaissances, notamment leur validité, consistance, pertinence... par rapport au problème traité par l'expert.

Expertise = Connaissances (conceptuelles + catégorielles + heuristiques + procédurales + factuelles + déclaratives).

*L'expertise est également un agglomérat de connaissances de compétence et de performance.*

Une troisième typologie des connaissances peut être effectuée. Elle repose sur les techniques d'accès à l'expertise. Laske (1986) soutient qu'il existe deux moyens complémentaires, reposant sur l'architecture fonctionnelle de la mémoire humaine, de concevoir un système expert. Le premier consiste à chercher les granules de connaissances situées dans la mémoire à long terme par des techniques d'inventaires de connaissances. Le second moyen s'attache à saisir les connaissances utilisées dans l'activité de prise de décision et actives en mémoire à court terme, à partir de techniques d'étude de cas. Cet auteur distingue :

- (a) les connaissances de compétence, liées à la compréhension des éléments d'un problème ;
- (b) les connaissances de performance, liées à la résolution d'un problème particulier. Elles ne prennent en compte que les connaissances pertinentes de la prise de décision. C'est l'utilisation des connaissances de performance qui débouche sur la prise de décision.

De ce point de vue, l'expertise est définie comme suit :

Expertise = Connaissances (compétences + performances)

A partir de la typologie de Laske (1986), nous pouvons considérer que :

- les connaissances de compétence font intervenir des connaissances conceptuelles et catégorielles ;
- tandis que les connaissances de performance sont relatives aux connaissances heuristiques, procédurales et déclaratives ;

Par conséquent, l'expertise se caractérise par :

Expertise = Connaissances (compétences + performances)

où : connaissances de compétence = connaissances (conceptuelles + catégorielles)  
et où : connaissances de performance = connaissances (heuristiques, procédurales, déclaratives)

*Les séparations sont artificielles.*

Si nous présentons ces connaissances de manière dissociée, elles sont en fait largement interdépendantes. Aussi, la dissociation des connaissances de compétence et des connaissances de performance, n'équivaut pas à deux types de connaissances différentes : il s'agit de deux vues d'un même objet.

En définitive, l'expertise est une forme particulière de la connaissance, qui combine à la fois des connaissances de compétence (concepts) et des connaissances de performance (raisonnements, démarches heuristiques). L'élaboration d'un système expert passe par le recueil et la modélisation de ces deux types de connaissances.

## 2.2.2. Le recueil d'expertise

*Le recueil d'expertise est une situation-problème.*

Les études traitant de la conception de systèmes experts ont identifié le recueil d'expertise comme une situation-problème. A propos du système expert Dendral, Buchanan (et al, 1969) faisait remarquer que "l'un des plus grand casse-tête a été de clarifier et de programmer de nouveaux éléments d'information... la théorie n'existe sous aucune forme globale et codifiée". Plus tard, Waterman et Jenkins (1979) confirment que la tâche d'explicitation des règles est "difficile et même parfois douloureuse". Plus récemment, Benchimol (et al, 1986) signale lui aussi que "l'acquisition des connaissances peut être l'occasion de frictions entre les concepteurs et les experts". Quant à Waterman (1986), il souligne un paradoxe du recueil d'expertise : "plus un expert devient compétent, moins il est capable de décrire ses connaissances". Cordier (1987) constate que les premières réponses obtenues par les experts sont banales et inexploitable : "Cela se voit bien... ou c'est cela qu'il faut faire, mais je ne sais pas pourquoi... Un long travail de réflexion lui per-

mettra seul d'explicitier la part inconsciente de sa démarche". Gaines (1987) confirme tous ces propos : "les processus de transfert et d'acquisition des connaissances chez l'homme sont complexes et très peu étudiés". L'ensemble de ces travaux illustre le fait que le recueil d'expertise constitue le "goulot d'étranglement" de la conception des systèmes experts. De plus, ces études se sont principalement attachées aux caractéristiques techniques du recueil et s'inscrivent dès lors dans une démarche informaticienne de la conception (Aleksander, 1985 ; Benchimol et al, 1986 ; Bonnet et al, 1986), qui privilégie les caractéristiques formelles du fonctionnement du système au détriment des caractéristiques cognitives des experts, des cognitivistes, des utilisateurs et de leurs interactions mutuelles. Pour ce qui nous concerne, nous définirons le recueil d'expertise comme suit.

### 2.2.2.1. Définition

Le recueil d'expertise est une situation sociale où deux à trois acteurs sont présents : l'expert, le spécialiste et le cognitiviste. Ensemble, ils élaborent un modèle de la connaissance qu'ils construisent à partir de la situation de travail analysée. Ainsi, le recueil d'expertise peut se définir comme une étape de la conception de systèmes à base de connaissances visant d'une part à la collecte des connaissances de compétence et de performance, et d'autre part à l'élaboration d'un modèle formel du traitement des connaissances d'un ou de plusieurs experts humains ; cette élaboration doit être suffisamment valide pour fournir une aide adaptée aux besoins des utilisateurs.

Trois types de préoccupations se dégagent de cette définition :

- (a) **la détermination des connaissances conceptuelles, catégorielles, heuristiques, procédurales et déclaratives ;** détermination effectuée sur la base de techniques de collecte de connaissances comme l'entretien ou l'observation ;
- (b) **l'élaboration d'un modèle formel de l'expertise ;** élaboration effectuée sur la base de l'analyse et de la formalisation des connaissances produites au travers des techniques de collecte de connaissances. L'analyse et la formalisation peuvent s'appuyer sur des théories de la cognition humaine, ou sur des données de la logique formelle, et doivent aboutir à une approximation automatisable en machine de l'expertise qui soit compatible avec l'expertise humaine.
- (c) **la validation du modèle d'expertise ou du système ex-**

pert. Trop de systèmes experts sont conçus avec le seul souci de faisabilité et pas celui de validité. Pourtant, une des conditions de réussite de la modélisation de l'expertise est que l'expert trouve dans le système une image relativement fiable de son fonctionnement cognitif.

Il est possible d'ajouter deux autres préoccupations. Elles concernent le design de l'interface homme-machine, qui peut être défini grâce à cette collecte d'informations, et l'intégration du système expert dans son environnement d'utilisation. Ainsi le recueil d'expertise peut avoir également pour objectif de :

- (d) spécifier, à partir de l'analyse du travail réalisée, les caractéristiques ergonomiques du **dialogue** homme-système expert (Brangier, 1990) ;
- (e) s'insérer dans une démarche socio-technique ayant pour but d'anticiper les **changements socio-organisationnels** liés à l'implantation de la nouvelle technologie, et conjuguer ainsi innovation technique et dynamique sociale (Brangier et Prez, 1988 ; Fischer et Brangier, 1990).

Dans le cadre de cette thèse, nous n'aborderons pas ces deux derniers points, qui n'ont pas de rapport strict avec la modélisation des connaissances.

#### 2.2.2.2. Les acteurs du recueil d'expertise

Le recueil d'expertise est généralement le produit de l'interaction de deux personnes : l'expert du domaine concerné et l'ingénieur de la connaissance ou cogniticien, chargé de collecter "l'intelligence" de l'expert, sachant que son intelligence n'est pas seulement ce qu'il sait, mais aussi ce qu'il peut faire avec ce savoir. Une troisième personne, le spécialiste, peut intervenir lors du recueil afin d'obtenir, de compléter, voire de préciser quelques connaissances. Définissons ces trois types d'acteurs.

##### *L'expert*

Un expert se définit par une expérience pratique associée à un savoir théorique. A même de résoudre des problèmes complexes, il donne des avis corrects et efficaces. Pour l'entreprise, le statut d'expert renvoie aussi à une représentation sociale. L'expert occupe une situation sociale, un rôle, un statut et une fonction hiérarchique qui lui confèrent également une reconnaissance sociale. De la sorte son passé est reconnu par l'entreprise. L'expert dispose d'un grand nombre de connaissances en quantité et en qualité, tout en ayant conscience des limites de son savoir. Capable de donner des explica-

tions et des justifications de ses raisonnements, il utilise tout aussi bien les connaissances de compétence et de performance de son domaine.

### *Le spécialiste*

Le spécialiste dispose d'un faisceau de compétences acquises dans un domaine, mais il lui manque soit les modèles théoriques, soit les modèles pratiques des connaissances qu'il manipule.

### *Le cogniticien*

Le cogniticien est chargé de recueillir, formaliser et automatiser l'expertise. Terme aux contours mal définis, oscillant entre la philosophie de l'esprit et l'informatique, en quête d'une identité entre le psychologue et l'automaticien, il désigne l'ingénieur chargé de recueillir et de formaliser les connaissances d'un expert humain. Les compétences du cogniticien relèvent de trois domaines : (a) les sciences de la connaissance (Psychologie, Ergonomie des logiciels, Linguistique, Philosophie de l'esprit, Logique) ; (b) les sciences et techniques informatiques (Langages informatiques et générateurs de systèmes experts) ; (c) la gestion des ressources humaines et technologiques (Sciences de l'organisation, Management, Gestion, Ressources humaines). Hart (1988) lui reconnaît les qualités psychologiques suivantes : éveil, aimer apprendre, tact, diplomatie, expression claire, patience, empathie, logique, confiance en soi, et capacité d'adaptation.

## 2.2.2.3.

### **Le recueil d'expertise comme processus de transformation des connaissances**

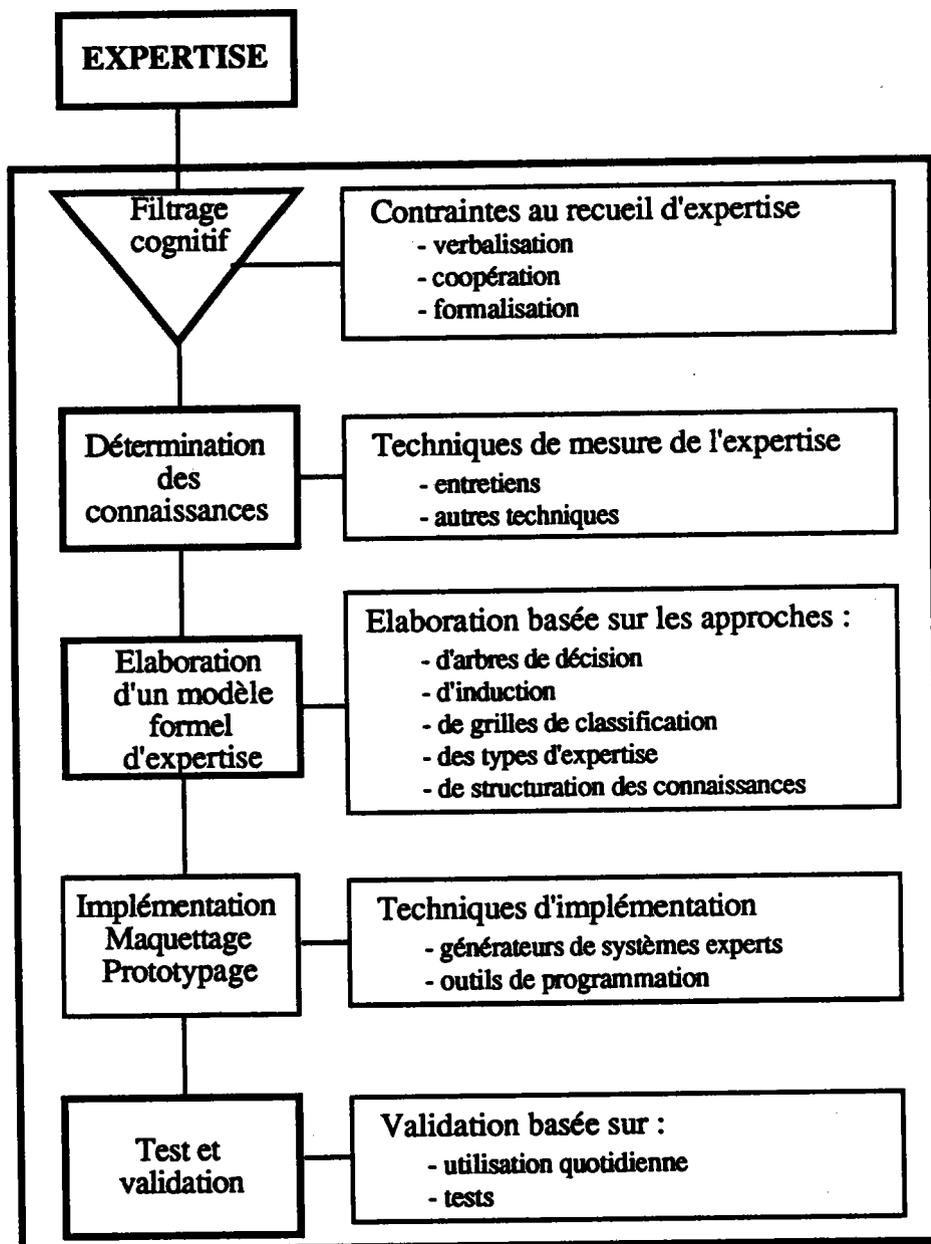
*Le recueil d'expertise vise à la substitution d'une expertise naturelle par un modèle artificiel.*

La conduite d'un recueil d'expertise implique de comprendre d'abord les divers éléments utilisés quotidiennement dans l'expertise, pour les transformer ensuite en une base de connaissances et un moteur d'inférences. Ce processus de transformation de la connaissance (figure 1), dans lequel s'expriment des contraintes propres au recueil des connaissances, est soumis à quatre phases :

- (a) la détermination des connaissances, réalisée grâce à des techniques de collecte de l'expertise, comme l'entretien ;
- (b) l'analyse des connaissances recueillies et leur traduction en un modèle formel ;
- (c) l'implémentation informatique des spécifications du système ;
- (d) enfin, la validation qui correspond à une mise en compétition des performances de la machine avec celles de l'expert. Elle a

pour but de déterminer le niveau de compétence de la machine et d'améliorer la structure ou le contenu de la base de connaissances.

Figure 1. Les étapes de la conception d'un système à base de connaissances



Nous présenterons maintenant ces étapes du processus de recueil d'expertise, de façon détaillée, en les replaçant dans le cadre des orientations théoriques développées à leur sujet.

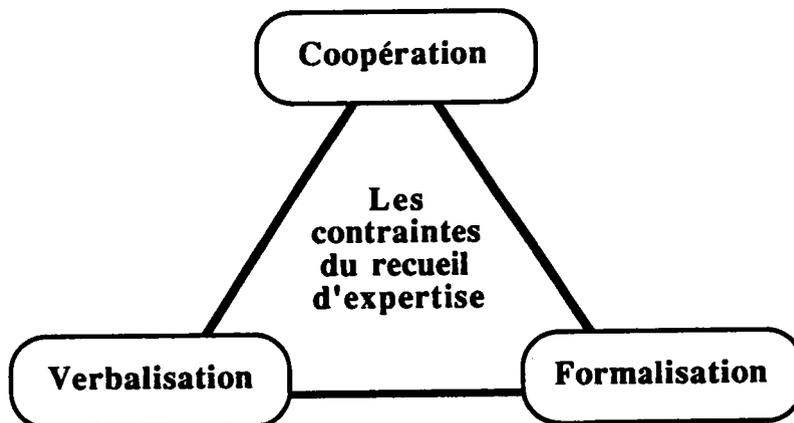
## 2.3. ANALYSE DE QUELQUES CONTRAINTES DU RECUEIL D'EXPERTISE

La diversité des recherches menées sur la conception des systèmes experts montre qu'il n'y a pas de consensus sur la manière dont le recueil d'expertise doit être conduit (Rothman, 1988). Néanmoins, une constante apparaît : si un système expert a pour but de reproduire le plus fidèlement possible le raisonnement et le comportement d'un expert dans un domaine de connaissance donné, il est nécessaire d'observer et d'analyser ce comportement afin de comprendre quelles peuvent être les contraintes propres ou préalables au recueil d'expertise et d'envisager leurs conséquences sur la conception du système expert.

*Les contraintes résident à trois niveaux de l'interaction expert-cogniticien.*

La conduite du recueil d'expertise implique la verbalisation des connaissances de l'expert, la coopération entre l'expert et le cogniticien, et une formalisation des connaissances correspondant aux processus cognitifs de l'expert. On peut repérer les contraintes du recueil à ces trois niveaux (figure 2).

Figure 2. Les trois niveaux de contraintes au recueil d'expertise.



- (a) Les contraintes liées à la verbalisation proviennent des caractéristiques propres aux connaissances des experts et de la difficulté à les expliciter clairement.
- (b) Les contraintes liées à la coopération expert-cogniticien sont le produit d'une interaction sociale où se jouent divers enjeux d'identité et de pouvoir. Cette interaction implique, entre autres choses, une négociation des connaissances à formaliser,

et plus généralement, une mise en perspective des univers mentaux des protagonistes.

- (c) Les contraintes liées à la formalisation des connaissances révèlent une réduction des connaissances sous la forme d'une approximation qui soit automatisable en machine. Cette traduction d'un langage verbal en un langage formel (qui peut être dans certains cas pré-établi) aboutit souvent à des retranscriptions manifestant des distorsions, des filtrages de l'information, qui sont notamment déterminés par "des possibilités heuristiques" de chacun des interlocuteurs (Sherman, 1980).

L'étude de la restriction des connaissances qui s'opère à chacun de ces échelons nous permettra de comprendre les processus en jeu dans le recueil d'expertise et indirectement, d'entrevoir les conséquences qui en découlent pour la base de connaissances et les conditions d'utilisation du système expert. Présentons successivement les caractéristiques des contraintes liées à chacun de ces trois niveaux.

### 2.3.1. Les contraintes liées à la verbalisation de l'expertise

Acquise au cours d'un apprentissage plus ou moins long, l'expertise est complétée et entretenue par l'expérience et la formation professionnelle. Elle constitue une configuration de connaissances théoriques et pratiques, établie à partir de la valeur que l'expert attribue aux mots qu'il manipule. L'accès à cette subjectivité représente une des difficultés du recueil d'expertise.

Après avoir exprimé quelques caractéristiques de la connaissance de l'expert, notamment les connaissances opératives, nous signalerons les difficultés de saisir le langage technique de l'expert, et enfin, nous nous poserons la question de savoir si les protocoles verbaux relatent des processus cognitifs.

#### *Caractéristiques de la connaissance de l'expert*

*Les difficultés d'accès à l'expertise sont nombreuses.*

Gaines (1987) note que les expertises :

- peuvent être fortuites. Les résultats avancés par l'expert peuvent dépendre de situations futures qu'il ne maîtrise pas ;
- ne sont pas toujours disponibles à la conscience de l'expert. Ce dernier peut dispenser des expertises dont il est incapable de formaliser directement les règles ;

- ne sont pas toutes exprimables par l'intermédiaire du langage ;
- ne sont pas compréhensibles pour un novice, surtout lorsqu'elles sont exprimées dans le vocabulaire propre à l'expertise ;
- peuvent être construites sur des bases qui n'ont pas de corrélation forte avec le domaine ;
- peuvent être incomplètes : les expertises ont la possibilité de se fonder sur de l'implicite qui n'est pas obligatoirement conscient et verbalisable par l'expert ;
- peuvent être incorrectes. Les experts peuvent, en effet, expliciter et justifier des arguments, qui bien qu'étant apparemment logiques, ne sont pas ceux qu'ils utilisent pour élaborer leur expertise.

Ces indications dégagent quelques-uns des points de difficulté d'accès aux informations détenues par l'expert.

### *Difficultés de cerner les connaissances opératives*

*La spécificité des connaissances opératives est un réel problème.*

Le recueil d'expertise consiste en partie en la détermination des connaissances opératives relatives à une expertise. "Les connaissances opératives ont pour caractéristique d'être spécifiques à un domaine et à une activité. Elles ont été acquises au cours et du fait d'une pratique (notamment professionnelle)" (Falzon, 1986). Cette forme de connaissance se distingue en partie des connaissances générales qui représentent l'ensemble du savoir et des événements auxquels le sujet a la possibilité de faire appel. Falzon fait remarquer qu'elles sont d'un maniement plus lourd que les connaissances opératives. En effet, les connaissances générales sont versatiles, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas directement orientées vers les tâches. Autrement dit, elles ne sont pas "porteuses d'une signification d'une utilisation spécifique". Une autre distinction entre ces deux formes de connaissance réside dans le fait qu'elles sont élaborées de façon différente. Par exemple, un individu a la capacité de mettre en mémoire des épisodes de son expérience, comme des moments de sa vie scolaire. Il se souviendra de tel professeur, de telle école... En parallèle, il va aussi acquérir des connaissances opératives qui seront des patterns généraux relatifs à la vie scolaire, et qui incluront des événements spécifiques avec des variantes possibles. L'ensemble de ces connaissances donne lieu à des représentations et ce sont elles, particulièrement les représentations opératives, qui interviennent dans le recueil d'expertise. Mais elles sont laconiques, fragmentaires plus que générales, difficilement verbalisables.

## ***Contraintes linguistiques de l'interaction expert-cogniticien***

***La richesse des interactions verbales est une contrainte supplémentaire***

Le recueil d'expertise est une situation "langagière". On y retrouve toutes les difficultés d'une communication orale très riche. La rigidité du vocabulaire d'expertise est certainement le premier facteur d'incompréhension lexicale et sémantique. L'expert et le cogniticien ont chacun leur vocabulaire technique qui bloque la fluidité de la communication et oblige le cogniticien à se familiariser, durant une période plus ou moins longue, avec le langage de l'expert.

De plus, la compréhension entre expert et cogniticien est d'autant plus compliquée que le champ de l'expertise est sémantiquement vaste. Des expériences en psychologie cognitive ont montré, à ce sujet, l'influence de l'énonciation d'un problème sur son mode de résolution (Bastien, 1986). Par extension, les questions que le cogniticien et l'expert se posent mutuellement influencent la manière dont ils y répondent, et donc la formalisation qu'ils en font. Par conséquent, les stratégies de verbalisation et de formalisation des connaissances sont définies par la manière dont est organisée la relation expert-cogniticien, et dont est signifié le contexte d'interprétation des énoncés produits. Dans les interlocutions, les hommes ont le sentiment de mieux se comprendre s'ils partagent une représentation commune du contexte. Celui-ci est un élément implicite qui optimise la compréhension des dialogues humains. Mais, il représente un indicateur difficilement modélisable (Winograd, 1984) de méta-compréhension.

Le langage apparaît donc comme un filtre obturant de façon diverse l'accès aux processus cognitifs de l'expert. La question des relations entre les protocoles verbaux et les processus cognitifs doit alors être posée.

### ***Protocoles verbaux et processus cognitifs***

Lors du recueil d'expertise, l'expert verbalise à la fois ses raisonnements et ses concepts. Le cogniticien l'aide dans ce travail. Mais dans cette situation, l'expert ne peut avoir accès qu'aux informations en cours de traitement dans sa mémoire à court terme (Caverni, 1986). La verbalisation provoquée, directive ou non, crée des biais. Caverni en relève plusieurs :

- (a) la verbalisation perturbe l'exécution de la tâche et en modifie la performance ;

- (b) certains processus mentaux, notamment ceux qui sont très automatisés, ne sont pas accessibles par verbalisation ;
- (c) les sujets mobilisant spontanément des représentations non verbales ont plus de difficultés à produire des verbalisations de leurs activités.

***La verbalisation implique un filtrage des connaissances.***

La verbalisation peut ainsi induire une formalisation du modèle de la production verbale de l'expert et non du modèle de son fonctionnement cognitif. Elle n'est donc certainement pas suffisante à elle seule pour accéder à l'expertise.

Les difficultés psycho-linguistiques révèlent par conséquent que le langage est un facteur :

- d'incomplétude de la formalisation : on ne peut pas rendre compte verbalement de l'ensemble des composantes des processus cognitifs en jeu dans l'exécution d'une tâche.
- d'épiphénoménalité : les protocoles verbaux sont relativement indépendants des processus mentaux en oeuvre dans l'exécution d'une tâche.

En résumé, au niveau de la verbalisation, les contraintes dépendent d'une part des caractéristiques de l'expertise, de la manière dont l'expert l'a apprise et des formes qu'elle peut prendre ; et d'autre part des protocoles verbaux engagés dans la relation expert-cogniticien.

## **2.3.2. Les contraintes liées à la coopération expert-cogniticien**

Le recueil d'expertise est une situation sociale de production, de traitement et de représentation des informations évoquées dans l'interaction expert-cogniticien. De ce fait, il stigmatise les aspects psychosociaux d'une conversation qu'il est possible d'analyser selon plusieurs facettes.

### ***Les conditions organisationnelles de la divulgation des connaissances***

***L'expert est un acteur stratégique.***

Une approche psychosociologique du recueil cherche à expliquer les rapports expert-cogniticien par les effets induits du système expert sur le travail de l'expert. En effet, la diffusion de l'expertise, à d'autres salariés qui ne sont pas expert, entraîne une banalisation de ce savoir. Pour Crozier (et al, 1977), une des sources du pouvoir

dans une organisation est “celle qui tient à la possession d’une compétence ou d’une spécialisation fonctionnelle difficilement remplaçable. L’expert est le seul qui dispose du savoir-faire, des connaissances et de l’expérience du contexte qui lui permettent de résoudre certains problèmes cruciaux pour l’organisation. Du moment que de son intervention dépend la bonne marche d’une activité, d’un secteur, d’une fonction très importante pour l’organisation, il pourra la négocier comme des avantages ou des privilèges”. Bien que Crozier et Friedberg placent l’expert dans un autre code d’analyse, il semble que le pouvoir de l’expert soit lié au type de connaissance qu’il maîtrise et qu’il peut manipuler dans une zone donnée. Une fois son savoir figé dans un système expert, il risque de perdre des ressources pour agir sur des “zones d’incertitude” qu’il manipule. Il peut avoir le sentiment de se faire confisquer son savoir et d’être dévoilé dans des pratiques clandestines qu’il avait développé (de Tersac et al, 1988). Dans ce cas, afin de minimiser la rétention d’information, le choix de l’expert paraît important. Si tant est que le choix soit possible, il convient alors de retenir un expert répondant à la définition du “marginal sécant”, c’est-à-dire un expert se trouvant à la périphérie de l’organisation.

A présent, nous allons voir que le recueil d’expertise peut aussi être considéré comme une relation où se construit interactivement la modélisation. Dans cette perspective, le cogniticien et l’expert interagissent l’un sur l’autre, et construisent ensemble un savoir formalisable.

### *Le recueil d’expertise et la co-construction des connaissances*

Les acteurs du recueil d’expertise parlent, échangent leurs avis, se contredisent et cette situation devient de fait un lieu d’argumentations. L’argumentation est un phénomène social où une personne vise à exercer une influence sur une autre. Oléron (1983) la définit comme: “une démarche par laquelle une personne -ou un groupe- entreprend d’amener un auditoire à adopter une position par le recours à des présentations ou assertions -arguments- qui visent à en montrer la validité ou le bien-fondé”. Le recueil d’expertise représente bien une telle situation. Un des deux acteurs argumente sur sa pensée, sur ses modes de raisonnement, en bref sur ses connaissances, afin de les faire valider par l’autre. Cette quasi-obligation d’argumenter et de justifier ses connaissances, comporte à la fois un avantage et un inconvénient. Avantage, car l’argumentation permet

de bien comprendre les connaissances de l'un en les faisant valider par l'autre. Inconvénient, dans la mesure où l'argumentation n'est pas tout à fait une forme de raisonnement. Alors que le désaccord produit à la suite d'une argumentation entre deux personnes peut être un signe d'erreur, le désaccord dans ce cas-ci n'implique pas que les raisonnements suivis par les sujets pour légitimer leurs avis soient faux. Ainsi, lors de la formalisation des connaissances, il convient de distinguer les raisonnements des argumentations et de ne formaliser que les premiers, sans quoi le système expert serait une reproduction du système argumentatif de l'expert et non un modèle de ses raisonnements.

*L'expertise est négociée par les individus.*

Si l'on s'appuie sur les travaux de Cicourel (1979), l'obstacle psychosocial à la réalisation d'un système expert apparaît d'autant plus important. En effet, pour cet auteur, le but ultime de toute rencontre entre des individus est la recherche d'un consensus et du maintien de l'ordre social. Dans ce cas, il faut considérer le système expert comme le produit de la formalisation de la relation expert-cogniticien et non comme résultant de la formalisation des raisonnements de l'expert seul. Car lors de la formalisation de son savoir, l'expert a effectivement besoin de la coopération du cogniticien pour attribuer une signification à ses énoncés. Ensemble, ils élaborent "une matrice logique commune" (Trognon, 1982). En effet, le discours est produit en situation et nécessite, dès lors, la coopération de l'autre dans l'attribution de la signification. Pour arriver à résoudre le problème du recueil d'expertise, les acteurs s'en partagent une théorie commune qui est le produit de leurs interactions et non le reflet exact des raisonnements de l'expert.

En bref, au niveau de la coopération, les contraintes proviennent d'une part des conditions organisationnelles de la divulgation du savoir-faire ; et d'autre part des jeux de négociation et de co-construction de l'expertise qui interviennent dans la situation de conversation.

### **2.3.3. Les contraintes liées à la formalisation des connaissances**

Une fois les connaissances recueillies, leur formalisation implique deux autres contraintes : celles relatives au modèle pré-établi de l'expertise, et celles s'apparentant à la notation des connaissances.

### ***Le poids des modèles pré-établis de formalisation des connaissances***

La formalisation vise à définir un modèle formel de l'expert qui mime sa démarche. A partir de l'analyse de ce qu'il fait et dit, le cogniticien doit aboutir à une modélisation informatisable. Mais en réalité le processus est souvent inversé. On dispose d'un langage informatique de représentation des connaissances et on demande à l'expert de formaliser ses connaissances selon ce modèle pré-établi. Au demeurant, le découpage des connaissances peut paraître superficiel. Les critères de découpage sont difficiles à trouver et relèvent quelquefois de connaissances de bon sens non verbalisées par l'expert.

Divers travaux de psychologie cognitive ont démontré que les sujets ayant un bon niveau intellectuel ont du mal à se conformer aux règles de la logique formelle (Reuchlin, 1973). La reconnaissance de ces difficultés conduit à deux conclusions (Oléron, 1982) :

- (a) "Les hommes ne raisonnent pas logiquement ;
- (b) Ils raisonnent selon des modalités différentes de ce que formule cette logique (formelle) et il convient de déterminer avec précision ces modalités, c'est-à-dire de constituer une logique naturelle".

La disjonction entre la logique formelle et la logique naturelle tient donc principalement au fait que la logique moderne, préoccupée par l'axiomatique des mathématiques et de l'informatique, a défini des règles qui ne touchent que marginalement et, souvent au prix d'équivoques et d'ambiguïtés, les démarches des sujets (Oléron, 1982). Ce qui introduit une contrainte à la formalisation des connaissances.

*La logique naturelle s'oppose à la logique formelle.*

### ***Le problème de la notation des connaissances***

La notation des connaissances vise à la retranscription des connaissances de l'expert selon un modèle interprétable en machine. Les moyens de notations -règles de production, réseaux sémantiques, langages orientés objets- ne restituent jamais entièrement la cognition humaine. Ainsi apparaissent des contraintes à l'implémentation. Citons un exemple (Mathieu, 1986) qui indique les avatars des héritages de propriétés dans les langages orientés objet :

Médor est basset  
 basset est chien  
 chien étudié par Pasteur

L'héritage des propriétés conduit alors aux déductions suivantes :

Médor est un chien

puis, Médor est étudié par Pasteur.

Bien évidemment, la deuxième assertion n'est pas nécessairement vraie. Pour la valider, il faudrait faire intervenir une relation de spécialisation. A propos des formalismes à base de règles de production, il faut remarquer que l'expert a souvent tendance à raisonner en terme de scénarios connus plutôt qu'en terme de règles qui s'enchaînent les unes aux autres. De ce fait, la représentation des connaissances sous la forme de règles de production est bien souvent inadéquate.

En résumé, la conception des systèmes à base de connaissances repose sur les postulats de la logique formelle et s'oppose à la logique naturelle de l'expert. En conséquence, elle impose une certaine notation des connaissances qui n'est pas toujours compatible avec le fonctionnement cognitif de l'expert. La notation des connaissances devient ainsi un frein à la conception des systèmes experts.

## 2.3.4. Discussion : le filtrage cognitif.

Le recueil d'expertise se présente comme un système de contraintes dans lequel :

- (1) l'expert et le cogniticien élaborent collectivement la formalisation des connaissances à partir de leurs interlocutions. De plus, la manière dont l'expert anticipe éventuellement la perte de son savoir peut être un facteur de rétention d'informations.
- (2) l'expert et le cogniticien n'ont pas le même langage. Autrement dit, les signes linguistiques qu'ils emploient ne recouvrent pas les mêmes référents. Cette disjonction de leur lexique ne fait qu'accroître la difficulté de formaliser le savoir de l'expert, et peut être à l'origine d'incompréhensions linguistiques entre les deux protagonistes.
- (3) l'expert peut avoir des difficultés à verbaliser et à modéliser, les règles logiques à partir desquelles il raisonne. Cet embarras est sûrement renchéri par le fait que les raisonnements de l'expert ont parfois du mal à se conformer à la logique formelle.

Par conséquent, les contraintes relatives à la verbalisation, à la coopération et à la formalisation sont à l'origine d'un filtrage cognitif. Le filtrage cognitif est le produit des difficultés de la détermination, de la modélisation et de l'informatisation des connaissances de l'expert.

Ainsi, l'expert risque de garder à lui, volontairement ou non, des informations pertinentes. A terme, ce filtrage cognitif transforme le problème posé par la mise au point du système expert. Le travail du cognicien ne consiste pas seulement en la réalisation d'une formalisation logique d'une expertise, mais en la résolution d'un problème complexe qui lui est posé (1) par sa propre incompréhension des connaissances de l'expert, (2) par le rôle actif qu'il joue dans la construction de l'expertise, et (3) par la construction d'un modèle formel de l'expertise.

Si l'on convient du filtrage cognitif, la formalisation des connaissances implantée dans le système ne provient pas uniquement de l'expert mais aussi du cognicien, ou du moins de leurs interactions. A cet égard, il est fort probable que l'expertise formalisée soit l'expertise négociée dans les interlocutions et non l'expertise propre à l'expert.

Le filtrage cognitif est certainement un élément fondamental du recueil d'expertise qui risque de transformer la simulation d'une activité cognitive complexe en un simulacre.

---

## **2.4. LA DETERMINATION DE L'EXPERTISE GRACE AUX TECHNIQUES DE RECUEIL DES CONNAISSANCES**

---

Après avoir présenté les contraintes au recueil d'expertise nous montrerons comment diverses techniques de collecte d'informations, proposent une solution au "goulot d'étranglement" de la conception des systèmes à base de connaissances.

Il n'existe pas de technique de collecte d'informations propres à la situation de recueil d'expertise. Qu'il s'agisse de l'entretien, de l'observation, du questionnaire, ou d'autres techniques, les techniques de recueil s'inspirent pour une grand part des méthodes des sciences humaines et sociales. Pour cette raison, nous ne les traiterons pas de façon détaillée, mais nous insisterons seulement sur certaines de leurs spécificités, et notamment sur celles de l'entretien et de l'observation.

## 2.4.1. L'entretien

L'entretien individuel ou de groupe a déjà été amplement étudié en psychologie. Cependant, l'entretien de recueil d'expertise possède un certain nombre de spécificités dont l'analyse peut être riche en enseignements. Pour ce faire, nous précisons dans un premier temps certaines caractéristiques de l'entretien de recueil d'expertise, pour présenter dans un deuxième temps, une typologie empirique d'entretiens.

### 2.4.1.1. Quelques caractéristiques de l'entretien de recueil d'expertise

#### *Généralités sur l'entretien*

*Il consiste à précipiter une situation de production verbale d'expertise.*

L'entretien est une technique de recueil d'informations basée sur une situation de conversation entre deux ou plusieurs acteurs, où l'un exerce la fonction d'interviewer et l'autre (ou les autres) celle d'interviewé. Dans ce cadre, les individus vont se construire une représentation du monde et gérer leurs compréhensions mutuelles. Du discours co-produit en situation d'entretien émergent alors des concepts, des procédures, des heuristiques, des raisonnements, des classifications des objets du monde, des relations conceptuelles, bref autant d'éléments qui constituent des traces précieuses du fonctionnement mental de l'interviewé. En somme, mener un entretien c'est avant toute chose créer une situation de production de discours de laquelle émanent des indicateurs de ce que les individus ont dans la tête et qui guident leurs actions sur les choses. Par le biais de l'entretien, le cogniticien précipite la construction verbale d'une représentation du monde de l'expert où celui-ci est sollicité pour reconstruire une représentation verbalisée de son processus de prise de décision, et plus globalement de son travail.

#### *Les propriétés de l'entretien de recueil d'expertise*

*La souplesse de l'entretien fait sa richesse.*

Si l'entretien est communément utilisé pour solliciter un expert humain, c'est tout simplement parce qu'il a des propriétés que les autres techniques n'ont pas. Notamment, il permet :

- l'étude de variables complexes comme celles de l'expertise, car il est souple à utiliser ;
- l'analyse des variables de l'expertise ne pouvant être saisies qu'à travers l'élaboration d'un discours ;
- à l'expert de s'exprimer dans ses termes avec les raisonnements

- qui sont les siens ;
- d'appréhender la partie inconsciente et confidentielle de l'expertise en abaissant le seuil de la conscience par l'utilisation d'une relation affective plus ou moins transférentielle ; ce qui n'est pas toujours le cas, puisque les cognitivistes n'ont pas forcément une formation clinique et thérapeutique.

### *La conduite d'entretiens*

On distingue habituellement trois types d'entretiens : l'entretien non-directif, l'entretien directif et l'entretien semi-directif. Mais qu'il soit directif ou non, l'entretien doit toujours être non-inductif. En d'autres termes, il importe que les questions posées par le cognitiviste ne reposent jamais sur des présuppositions ou des inférences que l'expert n'a pas précédemment énoncées. Autrement dit, le cognitiviste est tenu de ne pas induire des assertions que l'expert n'aurait pas préalablement exprimées. Sans quoi, il s'expose au risque d'imputer des raisonnements à l'expert qui proviennent en fait de sa propre façon de voir les choses. Ainsi, il convient de respecter les principes de l'entretien non-directif : empathie, acceptation inconditionnelle et attitude non-directive.

### *Définition de l'entretien de recueil d'expertise*

Si l'entretien est sans conteste la technique la plus utilisée pour recueillir l'expertise, il n'en est pas pour autant suffisant. Par des interactions langagières, il vise à expliciter les concepts et heuristiques de l'expert. Dans le jeu des questions non-directives et des réponses, l'expert est sollicité afin de parler librement de son travail et d'expliquer les concepts qu'il manipule et les relations que ces concepts entretiennent entre eux. L'expert est également amené à se construire une représentation plus ou moins claire de son expertise. Les concepts et raisonnements ainsi recueillis et analysés selon des méthodes d'analyse de contenu ont pour but :

*L'entretien de recueil d'expertise a plusieurs finalités.*

- la constitution d'un glossaire des termes de l'expertise ;
- la création d'un répertoire de raisonnements ;
- la détermination des principes ou processus cognitifs qui régissent l'activité d'expertise ;
- la définition des enchaînements logiques suivis par l'expert ;
- l'élaboration d'un modèle de l'expertise ;
- la validation empirique de la formalisation des connaissances ;
- des reformulations dont les réponses compléteront les données initialement recueillies.

Notons toutefois que l'entretien de recueil d'expertise ne doit pas se limiter uniquement à modéliser l'expertise. En effet, il doit s'attacher à décrire l'expertise dans le but de répondre aux besoins de l'expert, sans quoi le système conçu risque d'être inutile. L'entretien de recueil d'expertise est toujours un entretien d'analyse des besoins de l'expert en termes d'aide au travail. Par conséquent, il constitue une méthode d'investigation utilisée dans le but de recueillir à la fois des données sur l'expertise et sur les besoins de l'expert.

### *Les types d'interventions du cognitif*

Dans l'entretien de recueil d'expertise, les interventions du cognitif concernent d'un côté des reformulations sur les thèmes de l'entretien, et de l'autre des interventions d'ordre relationnel, qui assurent une écoute attentive. L'entretien oscille alors entre d'une part, des attitudes investigatrices et interprétatives ayant pour objectif de vérifier une hypothèse, de rechercher une information précise ou de proposer un schéma d'explication du fonctionnement de l'expert; et d'autre part des attitudes d'aide et de conseil dont les finalités sont soit de manifester un intérêt personnel rassurant et reconfortant sur le travail d'expertise, soit d'orienter l'expert vers un type de comportement propice à la verbalisation des connaissances.

Pour mener à bien l'investigation, le cognitif dispose de trois techniques lui permettant de doser ses interventions (Chauchat, 1985).

(a) Les consignes.

Préparées et rédigées à l'avance, elles constituent un guide d'entretien permettant d'exposer à l'expert la trame de l'entretien.

(b) Les recentrations.

En indiquant les limites d'un thème, le cognitif invite l'expert à rejoindre le champ d'investigation.

(c) Les reformulations.

Elles visent à reprendre ce que l'expert a dit. La reformulation instaure une relation d'écoute, de compréhension, d'approfondissement des connaissances et d'interprétation du discours de l'autre. La reformulation est un point important de l'entretien : grâce à des reformulations successives de la part du cognitif, l'expert explicitera ses connaissances (voir annexes).

En somme dans ses principes, l'entretien de recueil d'expertise n'est

pas différent d'un entretien de recherche. Toutefois, il se différencie des autres entretiens par les connaissances que l'on cherche : les connaissances de compétence et de performance. C'est ce que nous allons voir dans le paragraphe suivant.

### 2.4.1.2. Typologie empirique des entretiens de recueil d'expertise

L'entretien de recueil d'expertise a des objectifs différents en fonction du déroulement du recueil. Alors que les premiers entretiens sont exploratoires, les derniers s'attachent à valider la formalisation obtenue. La facilité à mettre en évidence les types de connaissances dépend de la façon dont sont conduits les entretiens. Au demeurant, la technique d'entretien utilisée doit être adaptée aux types de connaissances recherchées. De cette manière, il est possible de catégoriser les entretiens de recueil d'expertise en six types.

#### *Les entretiens exploratoires.*

*Ils visent à explorer la cognition et les besoins de l'expert.*

*Il s'agit d'étalonner la méthode de détermination de l'expertise.*

Le recueil d'expertise commence généralement par une phase d'exploration comprenant trois objectifs. D'abord, ces entretiens visent à définir les besoins de l'expert ou de l'entreprise en système d'aide au travail. En dehors de toute considération technique, les entretiens exploratoires s'attachent à déterminer les caractéristiques globale de l'aide à apporter et la forme que celle-ci pourra prendre. Ensuite, ils ont pour but de survoler l'expertise, d'en dessiner des éléments grossiers et d'en préciser les frontières. Enfin, les entretiens exploratoires servent à étalonner les instruments de recueil des connaissances. C'est notamment grâce à eux que le cogniticien met au point les méthodes d'observation de l'expertise. De ce fait, ils constituent les compléments d'une recherche bibliographique élémentaire sur le domaine de l'expertise. En effet, pour préparer les premiers entretiens, le cogniticien a souvent intérêt à se documenter sur le contenu du travail de l'expert en consultant quelques publications. Le contenu de ces premiers entretiens alimentera soit les entretiens suivants, soit la rédaction d'une grille d'observation, soit encore la rédaction d'un questionnaire basé sur un répertoire de raisonnements et de concepts confectionné à partir de l'analyse de contenu de ces premiers entretiens. Par conséquent, les entretiens exploratoires sont essentiellement non-directifs et les investigations portent sur des thèmes aussi larges que possible et peuvent concerner d'autres personnes que l'expert (spécialistes, gestionnaires...).

## ***Les entretiens d'inventaire des connaissances***

Les entretiens d'inventaires des connaissances visent à lister les concepts et catégories de concepts afin d'une part de documenter l'expertise par la rédaction d'un glossaire des concepts, et d'autre part de déterminer les zones de l'expertise qui sont incomplètes et devant être par la suite approfondies. L'expert est donc invité à énoncer et à définir les connaissances conceptuelles qu'il utilise. Ce faisant, les entretiens tentent d'explorer la mémoire de l'expert.

***Ils s'attachent à définir les connaissances de compétence.***

L'analyse de la structure mnémorique, c'est-à-dire de l'organisation fonctionnelle des informations stockées dans la mémoire de l'expert, est généralement menée à partir de trois techniques -le tri conceptuel, les grilles de classifications et l'évaluation multidimensionnelle- qui peuvent intervenir de façon plus ou moins prégnante dans la conduite des entretiens de collecte des connaissances.

***Le tri conceptuel permet de verbaliser et de ranger les concepts et catégories conceptuelles de l'expert.***

- La technique du **tri conceptuel** (Gammack et Young, 1984) vise à la verbalisation de l'organisation mnémorique de l'expert. Ce dernier est prié de dire les concepts de son expertise. Puis le cognicien rédige une fiche d'identification de chacun des concepts, chaque fiche comprenant le maximum d'informations sur le concept. L'expert est ensuite sollicité pour trier les fiches. Il les classe alors en groupes et en sous-groupes en explicitant les caractéristiques communes aux éléments de chaque groupe. Puis, de façon itérative, l'expert crée un réseau conceptuel et définit la hiérarchie mnémorique des concepts qu'il manipule. En fait, cette technique est à proprement parler une situation d'entretien où les acteurs se livrent à une analyse de contenu thématique de l'expertise. Elle est d'autant plus intéressante à utiliser que la verbalisation des connaissances par l'expert s'effectue rarement de façon aléatoire. Bien au contraire, elle est le reflet de la structuration mnémorique des connaissances. Par exemple, en demandant à un médecin expert de lister les indicateurs biologiques du sang, on s'aperçoit très vite que la manière dont il énonce les concepts reflète les grandes fonctions de l'organisme. Ainsi, il citera tout d'abord les indicateurs des sucres dans le sang, puis ceux de la fonction rénale, etc sans jamais les mélanger. Dans cet exemple, il apparaît clairement que le listage des concepts est un moyen efficace pour obtenir des informations sur la manière dont l'expert, en fonction de son savoir théorique et d'expérience, a stocké en mémoire ses connaissances. Olson et Rueter (1987) ont proposé une autre technique de tri conceptuel. Sur un poster où sont représentés tous les concepts de

l'expertise, l'expert est prié d'encercler les concepts ayant une ou des relations entre eux. Le tri peut ensuite être répété plusieurs fois avec le même expert afin de s'assurer de la constance et donc de la validité des relations conceptuelles.

*La proximité psychologique est utilisée pour établir les relations conceptuelles.*

- **Les méthodes d'évaluation multidimensionnelle** s'attachent à déterminer des concepts par la technique de la proximité psychologique (Cooke et McDonald, 1986). Pour chaque paire de concepts, l'expert attribue un coefficient de proximité ou de similitude. Tous les coefficients sont indiqués dans une matrice symétrique, encore nommée matrice de similitude. Cette matrice permet d'une part de dégager les concepts psychologiquement proches et d'autre part, de mettre en évidence les critères utilisés par l'expert pour définir la proximité. En fait, Olson et Rueter (1987) notent que malgré la simplicité de la démarche à suivre, l'interprétation de la matrice est délicate, d'autant plus si l'expert éprouve des difficultés à quantifier la proximité entre des concepts. De fait, la technique de l'évaluation multidimensionnelle est plus adaptée lorsqu'il s'agit de discriminer des objets ou des classes d'objets que d'interpréter des regroupements d'objets.
- **La technique des grilles de classification** issue des travaux de Kelly (1955) est également utilisée à des fins de classement des concepts. Après avoir verbalisé un certain nombre de concepts, le cogniticien présente des triplets (groupes de trois concepts que l'expert a préalablement verbalisé) de concepts à l'expert en lui demandant d'énoncer une propriété commune à deux des concepts et que le troisième ne partage pas. Ensuite, l'expert doit mentionner la propriété inverse ou antinomique de celle qu'il a précédemment énoncée. De la sorte, se dégagent des paires de propriétés antinomiques, appelées constructions mentales. Par exemple, supposons que l'expertise porte sur le choix de vêtements pour femmes, les concepts de classifications concernent le prix, la température extérieure, et l'occasion de porter ces vêtements. A ces concepts sont associés des constructions mentales, respectivement {Bon marché, Cher}, {Froid, Chaud} et {Cérémonie, Loisir sportif}. Dans un tableau croisant les concepts avec les résultats de choix possibles, l'expert attribue une note pour chaque indicateur en fonction d'une échelle allant de 0 à 9, 9 représentant exactement le concept et 0 l'inverse. Il donne par exemple au concept de prix les notes de 8 pour le tailleur, 2 pour le blue jean et 4 pour le survêtement. (figure 3)

Figure 3. Exemple de grille d'évaluation portant sur le choix d'un vêtement.

Concepts			Conclusions possibles		
	0	9	Tailleur	Blue jean	Survêtement
Prix	Bon marché	Cher	8	2	4
Température	Froid	Chaud	4	4	2
Occasion	Cérémonie	Loisir sportif	1	5	9

Sur la base de telles grilles, le cogniticien génère des règles de production auxquelles les coefficients des cases du tableau peuvent être jointes. Par exemple, une règle est :

Si le vêtement doit servir à faire du sport

Alors choisir le survêtement

*Il existe aussi les techniques de subordination et de superordination conceptuelle.*

- Boose (1985) a associé la technique de l'échelle à celle des grilles de classification. Le but de cette association était de préciser les relations conceptuelles en tant qu'elle peuvent faire apparaître soit des liens de subordination soit des liens de superordination. Elle s'attache à spécifier les hiérarchies entre les concepts manipulés à partir de questions formulées en termes de "pourquoi" et de "comment". En effet, l'emploi de "pourquoi" précipite l'énonciation de hiérarchies conceptuelles supérieures, alors que "comment" renvoie à des hiérarchies conceptuelles inférieures. Prenons l'exemple d'une femme sportive. Sur la base de la propriété "température" précisée par les constructions mentales {Froid, Chaud} nous pouvons nous demander "pourquoi cette femme a chaud ?", et répondre : "parce qu'elle fait du sport". De même "pourquoi fait-elle du sport ?" "parce qu'elle veut garder la forme", etc. Par conséquent, les questions initiées par le connecteur "pourquoi" génèrent généralement des réponses indiquant des relations de superordination conceptuelle. Dans l'exemple cité, "garder la forme" implique "sport", qui lui même implique "chaud". A l'inverse des relations de superordination, les questions formulées avec "comment" favorisent l'expression des liens de subordinations conceptuelles. De cette façon, "comment peut-on savoir si une femme à chaud ?" "quand elle sue". De fait, nous mettons en évidence que la sueur est subordonnée à la chaleur. Ainsi, cette technique facilite le recueil des organisations conceptuelles et permet de présenter les concepts de l'expert sous la forme de graphes s'inspirant des modèles de la mémoire sémantique ou sous la forme de modèles orientés objets.

Cependant, si les entretiens d'inventaires de connaissances favorisent l'explication et la classification des concepts, ils ne s'adressent pas

particulièrement au recueil des raisonnements et procédures, qui eux aussi participent à l'activité de décision de l'expert. Donc, les entretiens d'inventaires doivent être complétés par des études de cas, qui sont nécessaires pour appréhender les connaissances heuristiques et procédurales, si difficiles à verbaliser.

### *Les entretiens d'étude de cas*

*Ils visent à rassembler les connaissances de performance.*

Les entretiens d'étude de cas, également appelés "analyse de protocoles", tentent d'observer l'expert entrain de résoudre un problème réel quand on lui demande de "dire à voix haute ce qu'il fait ou pense". Ce sont des techniques de verbalisation provoquée. Deux types de connaissances sont recueillis de cette manière : d'un côté les connaissances prélevées par l'expert pour traiter le cas, et de l'autre les raisonnements en jeu dans le déroulement de la résolution du problème. A l'inverse des entretiens exploratoires ou de collecte des concepts, les entretiens d'étude de cas sont très utiles pour saisir les connaissances procédurales, souvent difficiles à communiquer. En revanche, cette technique de verbalisation provoquée entraîne une double charge de travail : l'expert doit simultanément résoudre un cas et expliciter les opérations et les raisons de ses actions en situation. De plus, soulignons que les activités sensori-motrices automatisées sont inaccessibles par cette méthode. Du reste, l'utilisation de ces techniques d'entretien font apparaître que l'expert ne verbalise que ce qui est important pour sa prise de décision. Ceci risque d'impliquer une vision laconique de la prise de décision, qui peut être palliée en demandant à l'expert de justifier ses raisonnements.

La technique de l'information à la demande est une autre façon d'étudier des cas ; elle constitue le dessin négatif de l'analyse de protocole, et se déroule en trois phases. Dans une première, le cogniticien doit se procurer une ou plusieurs études de cas réelles, ou à défaut, constituer des cas fictifs à partir des données préalablement recueillies. Dans une seconde, il conduit un entretien où il propose à l'expert de traiter les cas sans que ce dernier ne puisse les visualiser. L'expert est alors obligé de poser des questions au cogniticien et de les formuler de telle manière à ce que le cogniticien ne réponde que par oui ou par non. De la sorte, l'expert est amené à expliciter les informations qui lui sont nécessaires et les hypothèses qu'il élabore pour parvenir à prendre une décision. Dans une troisième phase, l'enregistrement des questions posées par l'expert alimente une analyse qui s'applique à mettre en lumière l'arbre des décisions de l'expert. L'analyse des données recueillies par cette technique peut en effet s'exprimer sous la forme d'un graphe agrémenté de connec-

teurs logiques (et/ ou/ oui/ non/ vrai/ faux...). Répétée maintes fois sur des cas différents, cette technique permet de saisir les informations nécessaires au diagnostic. Cependant, elle comporte certaines limites. Son principal problème d'application apparaît sans doute lorsque les informations varient très rapidement, comme c'est le cas dans certains types de contrôle de processus.

Aussi, il est possible de compléter la technique des informations à la demande par celle des informations cachées. Dans les tâches où l'expertise repose sur le prélèvement perceptif d'informations, le cognicien peut simuler une petite expérience d'occlusion partielle du champ visuel. Dans ce type d'expérience, le cognicien cache à l'aide de petits papiers les informations nécessaires à la prise de décision. Puis il demande à l'expert de les soulever en fonction de ses besoins en information. De cette façon, cette expérience fait ressortir les cheminements dans la prise d'informations et donc corrélativement les procédures et raisonnements tenus par l'expert.

D'une façon générale, les entretiens d'étude de cas visent à saisir la manière dont l'expert prélève et traite les informations. Ils présupposent que l'activité de prise d'information est subordonnée à celle de prise de décision. De ce point de vue, ils mettent en évidence ce qui est important dans la réalisation d'une tâche. En effet, l'analyse de protocole ou les informations à la demande favorisent l'établissement d'une check-liste des informations jugées utiles. Par contre, ces dernières ne se superposent pas toujours avec les connaissances explicitées dans les entretiens d'inventaire de connaissances. Aussi, la mesure des écarts entre les connaissances jugées utiles et les connaissances collectées librement peut révéler des problèmes d'incomplétude de l'expertise, d'irrégularités dans les stratégies de résolution de problème et de prise de décision, ou encore d'ommission des exceptions. Ces problèmes sont partiellement résolubles par des entretiens complémentaires.

### *Les entretiens complémentaires*

*Il est nécessaire de remédier aux incomplétudes détectées lors des autres entretiens.*

Les entretiens complémentaires cherchent à explorer les zones de l'expertise où le cognicien croit avoir identifié des faiblesses, des incomplétudes, voire des lacunes. Il s'agit de faire varier les situations de décision, d'en inventer d'autres, en bref de traquer l'expertise dans ses moindres recoins. Dans ce cadre, les entretiens basés sur les documents servant au travail de l'expert forment une première source de conversation, tout en permettant de collecter les connaissances factuelles, c'est-à-dire celles qui servent d'input à ses

raisonnements. L'identification des imprécisions de l'expertise, révélée par les entretiens d'inventaires de connaissances, fournit quant à elle une deuxième source de dialogue. En effet, le repérage des termes qui circonscrivent la validité de l'expertise, comme par exemple "en général", "souvent" ou "quelquefois", permettent d'engager des entretiens non-directifs explorant les ramifications de l'expertise. Par ces entretiens, le cogniticien doit chercher à savoir si l'emploi de tels qualificatifs renvoie à une incomplétude de l'expertise ou bien si l'expertise comporte cette imprécision, qui n'empêche pas pour autant l'expert de prendre des décisions.

*Il s'agit de vérifier la complétude des connaissances recueillies.*

Globalement, les entretiens complémentaires ont pour objectif de compléter et de vérifier la validité des connaissances recueillies. Visser et Falzon (1988) notent à ce propos que le cogniticien doit faire face à un certain nombre de problèmes, notamment, "la circonscription du domaine de compétence de l'expert, l'identification de l'intérêt des connaissances recueillies, l'identification des erreurs (justifications lacunaires ou erronées...), l'identification des omissions (l'ingénieur peut facilement omettre un sous-domaine de l'expertise)". Afin de minimiser ces risques, les entretiens complémentaires seront menés avec d'autres experts ou avec des spécialistes ayant des points de vue complémentaires de ceux de l'expert.

### *Les entretiens de présentation des résultats et de validation*

*La validation passe par la restitution des analyses.*

Les systèmes experts sont trop souvent conçus exclusivement avec le seul souci de leur faisabilité et non celui de leur validation. Pourtant au cours de la conception du système expert, il est essentiel de réaliser des évaluations graduelles, qui se limitent à certaines variables de l'expertise, afin de minimiser les erreurs de formalisation. Les entretiens de présentation des résultats et de validation visent à établir une correspondance entre la formulation d'une modélisation et une suite d'activités effectuées par le cogniticien sur l'objet d'étude. Ces entretiens doivent décider, par un jugement portant sur cette correspondance, si la modélisation appartient ou non à l'ensemble des connaissances de l'expert. Ils forment ainsi une procédure de validation effectuée conjointement par le cogniticien et l'expert. A partir des analyses des entretiens précédents, le cogniticien indiquera ce qu'il a interprété de ce que l'expert lui a dit. Autrement dit, pour la première fois, l'expert va recevoir un feed-back sur sa façon de travailler. Dans le même temps, il prend conscience du travail déjà réalisé, de ce qu'il a dit et de la façon dont l'autre a compris ce qu'il a dit. En filigrane de la présentation des résultats

obtenus par l'ingénieur se trouve donc l'administration de la preuve ou encore la validation des propositions scientifiques. Ainsi, les entretiens de présentation des résultats et de validation constituent l'étape particulière du recueil où l'ingénieur va présenter à l'expert un modèle de son fonctionnement mental qui soit transposable en machine.

Quatre aspects d'une démarche de validation peuvent être retenus : les difficultés de valider un modèle d'expertise, l'étude des réactions des experts mis en face d'une analyse de leur expertise, la validation des raisonnements prépondérants, et enfin la validation par la simulation du modèle d'expertise.

*L'expertise est indissociable de la situation où elle est produite.*

La principale difficulté rencontrée lors de ces entretiens est qu'on ne peut dissocier l'expertise de la situation où elle est reconstruite, à savoir l'entretien. Cette interprétation du recueil d'expertise en tant que situation où se co-construisent les connaissances entre l'expert et le cogniticien, modifie radicalement les procédures de validation. En effet, cette interprétation admet que les entretiens, ou plus largement les situations de recueil de connaissances déployées par le cogniticien, interviennent dans les résultats qu'il obtient. De plus, elle laisse entendre que l'expertise co-produite n'est pas forcément intelligible en dehors de la situation d'entretien. Le travail effectué dans les entretiens de validation consiste donc d'une part à vérifier la pertinence des connaissances collectées et d'autre part à "sortir" ces connaissances de la situation de l'entretien pour les envisager dans une machine et dans une situation de travail. Effectivement lors des entretiens de validation, le cogniticien doit rechercher si la validité que confère l'expérience réussie de la verbalisation des connaissances est provisoire et limitée à la situation d'entretien, ou bien si l'expertise recueillie et formalisée peut affronter l'épreuve de la réalité du travail quotidien de l'expert. La difficulté provient en somme du fait que l'entretien de recueil ne révèle pas seulement les propriétés de l'expertise mais aussi celle de l'expertise en interaction avec les techniques de recueil.

*L'expert se sait étudié.*

Une autre difficulté provient de la capacité de connaissances et de changement dont dispose l'expert, c'est-à-dire de la maîtrise qu'il a ou non de son intériorité (Liu, 1990). Le recueil d'expertise est toujours l'étude d'un sujet connaissant, qui est conscient de l'étude et qui y occupe la place centrale ; il prend part à l'étude. C'est pourquoi, la démarche de validation est placée sous la dépendance de l'expert, qui peut soit révéler soit occulter ses comportements et raisonnements. La validation ne peut donc être atteinte que par la

confirmation par l'expert de ses comportements et raisonnements. Le travail du cogniticien, rendu difficile parce que les connaissances de l'expert ne sont pas totalement conscientes, se heurtera donc à l'expert lui-même, et plus particulièrement aux frontières de son inconscient et à l'impossibilité de reconstruire les étapes ayant participé à l'apprentissage de son métier. Le cogniticien devra alors admettre qu'une partie irréductible de l'expertise est indéterminée ou non modélisable compte tenu des contraintes techniques du projet. Du reste, l'intériorité de l'expert lui permet également de contourner une éventuelle prévision ou planification de ses raisonnements. En prenant conscience des conséquences de ses décisions, il peut modifier ces dernières. Plus subtilement, la prévision des décisions de l'expert "peut être la cause directe d'événements qui n'auraient pas lieu sans elle" (Liu, 1990). Pour ces multiples raisons, la validation d'une prévision de comportements ou de raisonnements est difficile, dans la mesure où l'expert se sait étudié. Dès lors, il peut être amené à modifier consciemment ou non ses raisonnements. En conséquence, les entretiens de validation sont toujours difficiles à mener, et ce d'autant plus que le cogniticien est immergé dans son objet d'étude.

C'est pourquoi, une question domine l'administration de la preuve : comment savoir si l'expert est d'accord avec la modélisation, s'il la réfute, ou si sa réfutation est un signe de résistance qui donne raison à la modélisation ? Cette question n'est pas facile à aborder. Cependant, trois éléments de validation peuvent être utilisés.

*La validation peut s'appuyer sur l'analyse des réactions de l'expert.*

Le premier élément de validation repose sur l'étude des réactions de l'expert lorsque le cogniticien construit une modélisation. A celle-ci, l'expert réagit par la confirmation ou la négation. Dans tous les cas, un "oui" de l'expert n'est pas plus probant qu'un "non", ce ne sont des signes ni d'exactitude ni d'erreur, mais des énoncés à interpréter. Le "oui" ou le "non" n'ont de valeur que s'ils sont suivis de confirmations indirectes, c'est-à-dire si immédiatement après son "oui" ou son "non", l'expert énonce de nouveaux arguments qui complètent et élargissent la construction de la modélisation de son expertise. Par conséquent, le "oui" ou le "non" de l'expert ne garantissent pas à eux seuls la justesse ou la fausseté de la modélisation, mais ils peuvent s'accorder avec cette éventualité. Ce sont surtout les justifications de l'expert qui permettent de construire et de valider un modèle d'expertise. En définitive, l'analyse des réactions cherche à :

- détecter les modes indirects de confirmation, par exemple des confirmations par des associations ou par des exemples ;

- interpréter le non-dit en analysant les réactions de l'expert.

***La validation se limite aux raisonnements prépondérants.***

Le deuxième élément de validation concerne les caractéristiques propres aux connaissances que l'on cherche à valider. Bien évidemment l'expert fonctionne selon une infinité de modalités de traitement, et toutes ne sont pas accessibles à la conscience et encore moins à la verbalisation, faute de temps et de techniques d'investigation adéquates. Dans ce cas, **la validation se limite aux modes de comportements et de raisonnements prépondérants.** Ces derniers sont les comportements et raisonnements qui possèdent une dimension permanente, répétitive et liée à des habitudes. Ces raisonnements et comportements s'opposent à l'ensemble des comportements possibles, qui comprend quant à lui, les cas particuliers et les exceptions dont la formalisation en machine entraînerait un coût trop élevé par rapport à leur efficacité quotidienne. En effet, plus le système expert devra traiter des cas particuliers non assimilables par le mode prépondérant de prise de décision, plus la durée de recueil d'expertise, de formalisation et de programmation sera longue et coûteuse. De ce point de vue, la validation s'applique à différencier ce que le système expert sera en mesure de traiter de ce qu'il n'est pas !

***La simulation du modèle permet la validation.***

Le troisième élément de validation repose sur la **simulation des décisions de l'expert.** Cette dernière est réalisée à l'aide d'études de protocoles, ou mieux d'une maquette de système expert. Dans ce dernier cas, la machine est confrontée à l'expert, qui est prié de critiquer les modes de traitements et les résultats de la machine. Rappelons que la validation ne doit pas servir à montrer que le modèle formel d'expertise est bon, mais à indiquer ses faiblesses. Dans cette perspective, il est intéressant de noter et d'analyser à la fois les échecs de simulation et les simulations réussies. Les échecs de simulation correspondent à des réfutations de l'expert, c'est-à-dire qu'il marque un désaccord avec les résultats obtenus par la maquette. La réfutation est un critère de non-validation, et de fait, les échecs de simulation doivent être analysés afin de déterminer s'ils sont liés à une inadéquation des modes prépondérants de traitement des connaissances ou bien à des exceptions. La correction des connaissances ayant conduit à une non-validation doit engager ensuite une simulation réussie. Cependant, il faut garder à l'esprit que ce n'est pas parce que l'expert réfute une fois une décision du système que cette réfutation correspond à une loi permanente. De la même façon, la répétition d'innombrables simulations réussies effectuées à partir de problèmes divers et variés, ne garantit pas systématiquement la permanence et l'universalité de la modélisation

de l'expertise.

Comme nous le voyons les trois éléments de validation -l'interprétation des réactions de l'expert, les modes prépondérants de comportement et raisonnement, et la simulation- se présentent comme des techniques visant à valider des propositions scientifiques. Ces éléments ne sont certainement pas spécifiques à l'entretien de recueil d'expertise.

*Le recueil d'expertise est un processus transformationnel.*

Généralement, les types d'entretiens se chevauchent au cours d'une même session d'interview. La typologie d'entretiens proposée ne doit pas laisser à penser que le recueil d'expertise est un processus hiérarchique allant de l'étude des connaissances générales aux particulières. C'est un processus dynamique, non-hiérarchique et transformationnel qui implique la découverte de nouveaux objectifs. L'entretien ne se réduit pas à un moyen de collecter de l'information, c'est aussi une situation sociale et humaine permettant d'analyser l'expertise produite et de proposer à l'expert une interprétation sur les processus cognitifs qui régissent son activité. Autrement dit, l'entretien de recueil d'expertise est une situation sociale (1) d'analyse de contenu thématique (entretien d'inventaire des connaissances), (2) d'analyse de protocole (entretien d'étude de cas), (3) d'analyse du discours (entretien complémentaire) et (4) d'administration de la preuve.

## 2.4.2. L'observation

S'il apparaît clairement que les entretiens fournissent de riches informations sur le travail de l'expert, ils ne sont pas suffisants au recueil des connaissances. Nassiet (1987) note que les connaissances procédurales échappent assez facilement à l'entretien. Pour recueillir ces connaissances, l'observation ou les méthodes d'analyse de la prise d'informations (analyse des mouvements oculaires) semblent mieux adaptées. De plus, l'entretien implique généralement un décalage dans le temps et dans l'action, si bien qu'il entraîne une vision déformée des connaissances. Ce à quoi l'observation tente de pallier.

*L'observation tente de faire disparaître les biais de l'interaction.*

L'observation directe "consiste à observer le phénomène que l'on étudie dans les lieux et l'instant où il se produit" (Chauchat, 1985). L'observation a l'avantage d'annuler les biais liés aux techniques d'évocation explicite des faits, comme c'est le cas dans un entretien où l'expert décrit ce qu'il croit être son expertise. L'observation ne s'applique qu'à l'étude des expertises ayant de fortes composantes

verbales ou gestuelles. En effet, si l'expert prend ses décisions en dehors de toute contrainte gestuelle ou verbale, cette technique perd de son intérêt.

Pour recueillir des informations ou tester des hypothèses par la technique de l'observation, il convient de respecter quelques recommandations (Chauchat, 1985) :

- les effets de l'observation doivent autant que faire ce peut être maîtrisés ; l'observation pourra ce faire à l'insu ou partiellement dissimulée ;
- les sujets, les situations et les durées d'observation doivent être échantillonnés afin que les données rassemblées soient les plus exhaustives et représentatives ;
- les observations doivent être enregistrées et retranscrites ;
- l'analyse des données s'appuie généralement sur une grille d'observations confectionnée à partir d'observations préalables ;
- la grille d'observation repose sur la mise au point d'une terminologie des faits observés qui doit être le plus possible indemne de la subjectivité du cogniticien ;
- la terminologie des faits observés se base sur des indicateurs d'observation qui, catégorisés selon les critères d'homogénéité, d'exhaustivité, d'exclusivité, de pertinence et d'objectivité visent à l'élaboration de la grille d'observation.

Finalement, les résultats des observations permettent de quantifier les comportements, de repérer des séquences comportementales et de construire un graphe des comportements observés. Toutefois, l'observation n'est pas la technique la plus utilisée dans le recueil d'expertise.

D'autres techniques de collecte d'informations existent comme le questionnaire ou l'analyse des mouvements oculaires, mais ne les ayant pas utilisés, nous ne les présenterons pas ici.

### 2.4.3. Discussion

Toutes les techniques de détermination de l'expertise comportent des intérêts et des limites. Choisir une technique parmi d'autres est une option méthodologique qui conditionnera la collecte et la formalisation des connaissances. Le premier travail du cogniticien est donc d'étalonner ses techniques de recueil en fonction des contraintes de la situation de travail à analyser (acceptabilité des techniques de recueil par l'expert, caractéristiques du travail de l'expert...) et des objectifs de conception (besoins de l'expert, durée du recueil, fonc-

tionnalités et caractéristiques du dispositif d'aide au travail...). A cet égard, l'adéquation des techniques de recueil d'expertise aux types de connaissances recherchées est un réel problème. Dans le but d'y remédier, Burton (et al, 1988) ont évalué quatre techniques de recueil d'expertise -l'interview structuré, l'analyse de protocole, le tri de cartes et la grille de classification- en les comparant et en cherchant à mesurer leur efficacité en fonction des connaissances recherchées et du domaine d'expertise. Leur expérience les a conduit aux résultats suivants :

- toutes les techniques prennent quasiment le même temps d'exécution ;
- les temps de retranscription sont sensiblement différents, et comme on s'en doute la retranscription des interviews occupe beaucoup de temps ;
- le champ d'application des techniques ne fait pas énormément varier leur efficacité, néanmoins l'analyse de protocole a, selon eux, un champ d'application plus restreint que l'interview ;
- le tri de cartes donne de bons résultats lorsque l'expertise est multi-dimensionnelle.

*Les caractéristiques des individus interviennent dans les résultats.*

Ces résultats ne diffèrent pas en fonction des domaines d'expertise, mais des experts. En effet, des variables comme la personnalité ou le style cognitif peuvent modifier les performances des sujets. Rappelons encore une fois que les entretiens exploratoires doivent servir à étalonner les techniques de recueil aux experts et aux domaines d'expertise.

Plus globalement, Bloomfield et Shalin (1989) ont synthétisé les problèmes posés et les potentialités des techniques d'acquisition des connaissances. Bâti autour de leur travail, le tableau récapitulatif (figure 4), met en parallèle les techniques de recueil avec les connaissances recherchées dans ces mêmes entretiens.

Notons que les entretiens de validation n'ont pas leur place dans ce tableau ; ils doivent servir à valider l'ensemble des connaissances recueillies par les autres entretiens.

La détermination des connaissances, première phase du recueil d'expertise, est donc conditionnée par le choix des méthodes de recueil employées pour acquérir l'expertise. Connaître les choix possibles, trouver les meilleurs compromis entre les avantages et les inconvénients de chaque choix, constitue le travail initial de l'ingénieur.

Figure 4. Tableau résumé de l'adéquation des techniques de recueil d'expertise aux types de connaissances recherchées.

Connaissances	Techniques de recueil d'expertise
Conceptuelles	Entretien d'inventaire de connaissances (tri conceptuel) Analyses des documents qui sont des supports à la prise de décision Entretien complémentaire
Catégorielles	Entretien d'inventaire de connaissances (tri conceptuel, évaluation multidimensionnelle, grille de classification, échelles de subordination et de superordination)
Heuristiques	Entretien d'étude de cas (analyse de protocoles, information à la demande, techniques des informations cachées) Observation
Procédurales	Entretien d'étude de cas (analyse de protocoles, information à la demande, techniques des informations cachées) Observation
Déclaratives	Entretien d'étude de cas Entretien complémentaire

## 2.5. L'ELABORATION D'UN MODELE D'EXPERTISE

Une fois les connaissances recueillies, leur analyse doit aboutir à un modèle fonctionnel de l'expertise qui soit automatisable. Elaborer ce modèle implique l'analyse, la représentation et la formalisation des données. La question de l'élaboration d'un modèle d'expertise occupe une place importante dans la littérature consacrée au recueil d'expertise. Il s'y mêlent à la fois des données linguistiques (Vogel, 1988a), psychologiques (Tiberghien, 1988b, Faure et Gonzalez, 1988), logiques (Fargues, 1986), ergonomiques (Fischer et Herczeg, 1988) et informatiques (Aleksander, 1985 ; Bonnet et al, 1986 ; Benchimol, 1986, etc). En dépit de leurs différences, la majorité des travaux portant sur l'élaboration d'un modèle formel d'expertise procèdent d'une même logique qui cherche à établir des relations de causalité entre une expertise collectée par des techniques de recueil d'information et un langage de représentation de l'expertise traductible en programme informatique.

*Un modèle est une formalisation logico-mathématique.*

Pour Tiberghien (1988b), "un modèle formel résulte de l'application d'un système formel à un sous-ensemble d'objets de la réalité afin de permettre une interprétation en termes de valeur de vérité. Ainsi, un modèle doit posséder une syntaxe (celle du système formel utilisé) et une sémantique (résultant de la projection du système formel dans une réalité signifiante). La syntaxe du système

formel est définie par un ensemble de conditions (un langage) : définition de symboles élémentaires du système, des expressions du système, des règles de formation des expressions et des expressions correctement formées du système (formule du système). Un système formel doit également définir une procédure de démonstration formalisée (axiomes, relations entre formules et règles d'inférence, théorèmes). La syntaxe d'un système formel inclut donc la formalisation du langage et la formalisation de la démonstration. L'élaboration d'un système formel est donc un travail de type logique ou mathématique". De ce point de vue, l'élaboration d'un modèle de la cognition fait appel à des schémas de construction devant rendre compte du processus de structuration des connaissances dans le système expert. Nous en retiendrons cinq.

*Il existe cinq démarches d'élaboration d'un modèle d'expertise.*

La première démarche envisage l'élaboration d'un modèle d'expertise à partir de la mise en œuvre d'un modèle pré-établi de représentation des connaissances, en l'occurrence le formalisme des **arbres de décisions**. La deuxième approche, basée sur l'**induction**, construit le modèle formel d'expertise à partir des formes brutes de connaissances. La troisième approche s'efforce d'extraire les connaissances, et de les modéliser à partir de techniques de classification des concepts. Elle intègre à la fois des dispositifs d'explicitation des connaissances et un modèle de représentation formelle de l'expertise, et s'inspire de techniques d'entretien ou d'interrogation d'un expert fondées sur les **grilles de classification**. La quatrième démarche, centrée sur la **tâche d'expertise**, part du principe selon lequel le fait de disposer d'un modèle de la tâche d'expertise préformé facilite le travail de formalisation et de représentation des connaissances. La cinquième approche aborde l'élaboration d'un modèle en cherchant à structurer les connaissances en fonction de grands systèmes qui, reliés entre eux, visent à mimer la démarche de l'expert. Cette approche est orientée sur la **structuration des connaissances**.

## 2.5.1. L'élaboration d'un modèle d'expertise à partir du formalisme des arbres de décisions

Les arbres de décisions fournissent un cadre pré-établi d'élaboration d'une modélisation. Ils reposent sur le fait que la description des composants de l'expertise suggère souvent une hiérarchie de con-

cepts et de règles, qui servent à attribuer une valeur aux différents objets de la hiérarchie. De ce fait, l'expertise est souvent représentée sous la forme d'un arbre de décisions, composé de noeuds, d'arcs et d'une grammaire formelle mettant en relation les différents concepts et attributs de l'expertise.

De nombreux outils informatiques, environnement de développement ou logiciels spécifiques permettent de représenter assez rapidement et simplement des arbres de décisions. Citons par exemple "Graphtalk" de Xerox, "Vax Decision Expert" de DEC, ou encore "Procedure Consultant" de Texas instrument. Schématiquement, ces systèmes permettent d'une part de représenter l'expertise sous la forme de graphes de décisions, et d'autre part de la convertir sous la forme de règles dans une base de connaissances.

*Les arbres de décisions ont un formalisme restrictif.*

Ces systèmes orientés arbres de décisions sont simples à manipuler mais s'avèrent inefficaces lorsque l'expertise est quantitativement importante. De plus, aucun de ces systèmes n'offre de dispositif de verbalisation des connaissances, et le cognicien n'est pas assisté dans le recueil d'expertise.

## 2.5.2. L'élaboration d'un modèle d'expertise basée sur l'induction

*L'induction est un mécanisme d'activation des connaissances verbalisées par l'expert.*

Une approche un peu plus sophistiquée de l'élaboration de l'expertise repose sur l'induction. Les algorithmes d'induction représentent un effort vers l'acquisition automatique des connaissances. Leur principe est le suivant : l'expert et le cognicien créent ensemble un tableau ; les attributs intervenant dans la décision sont positionnés en haut du tableau. En haut à droite du tableau est indiqué l'attribut de la conclusion à satisfaire. Ensuite, l'expert est prié de préciser les contenus des attributs intervenant dans la conclusion. Ainsi, dans les lignes du tableau sont placées les valeurs qui amènent à la conclusion.

Attributs à satisfaire	Conclusions possibles
Attributs relatifs à la conclusion 1 (valeurs)	Conclusion 1
Attributs relatifs à la conclusion "i" (valeurs)	Conclusion "i"
Attributs relatifs à la conclusion "n" (valeurs)	Conclusion "n"

Une fois le tableau rempli, l'algorithme inductif traduit la matrice en un arbre de décision. Puis, il élimine les attributs qui ne sont pas nécessaires à la prise de décision et arrange les attributs vers plus d'efficacité, c'est-à-dire en s'assurant que l'utilisateur n'aura pas à répondre à des questions sans rapport avec l'assistance qu'il attend du système.

Plusieurs systèmes fonctionnent sur ce principe, il s'agit par exemple de "Knowledge shaper", "VRS consulting" ou encore "VP expert", qui permettent de convertir une matrice en un ensemble de règles.

Les systèmes basés sur l'induction ne sont généralement pas à même de travailler sur de nombreuses données, si bien qu'ils ne sont utilisés que sur des expertises succinctes. De plus, ces systèmes ne prennent pas en compte la profondeur existant entre divers niveaux de connaissances, et travaillent systématiquement sur des connaissances à un même niveau d'abstraction. Les systèmes orientés "induction" n'envisagent pas de reconnaître et de chaîner des règles à des niveaux différents d'abstraction. C'est pourquoi, ces outils sont inefficaces lorsque des attributs de certaines règles dépendent d'autres règles.

### **2.5.3. L'élaboration d'un modèle d'expertise fondée sur des grilles de classification**

En s'intéressant à la manière dont les individus catégorisaient leurs expériences et classifiaient leur environnement, Kelly (1955) proposa une approche thérapeutique de l'interview. Selon Kelly, chaque individu cherche à prédire et contrôler le monde en faisant des théories, en testant des hypothèses et en posant des évidences. Kelly demandait à ses patients de lister et de comparer des concepts pour en dériver des traits de caractères. Les concepts étaient répertoriés sur une grille, puis comparés selon le principe de l'évaluation multidimensionnelle. Initialement destinée à la psychothérapie, la technique d'entretien de Kelly est utilisée à des fins de collecte et de simulation des raisonnements scientifiques par Boose (1985, 1986). Ce chercheur a proposé un modèle automatisé d'acquisition des connaissances et a réalisé l'outil ETS -Expertise Transfer System- qui permet de créer des bases de connaissances au format d'outil de développement comme Loops de Xerox ou Knowledge craft du Carnegie Group.

ETS "interviewe" l'expert puis analyse les grilles d'évaluation qu'il a remplies et génère des bases de connaissances dans le formalisme des règles de production. L'approche se centre sur une évaluation multidimensionnelle de l'expertise, et la construction des graphes de dépendances conceptuelles alimente automatiquement la base de connaissances qui peut être affinée et testée par le mécanisme

d'inférence d'ETS. ETS permet l'identification des concepts clés et fournit des connaissances de base pouvant servir à l'extériorisation de certaines relations entre les concepts.

En s'appuyant sur la technique des grilles d'évaluation, ETS s'adresse plus particulièrement aux tâches de diagnostic ou d'évaluation et délaisse la collecte des connaissances procédurales et heuristiques. Mahé et Vesoul (1987) formulent d'autres réserves :  
ETS

- ne permet qu'une première formalisation, qu'un maquetage rapide ;
- ne fonctionne que pour les problèmes de diagnostic, d'interprétation et de classification ;
- ne permet pas d'extérioriser les connaissances causales, profondes, procédurales et stratégiques ;
- implique d'identifier les conclusions qui sont au même niveau de granularité ;
- n'autorise pas l'utilisation de concepts multivalués ;
- ne garantit pas la qualité du recueil d'expertise, le mode de représentation des connaissances (règles de production) ne convient pas forcément au problème.

Boose, conscient des insuffisances d'ETS, remarque néanmoins que d'une part plus d'une centaine de maquettes de systèmes experts ont ainsi été réalisées ; et d'autre part que si ETS ne remplace pas le travail du cognicien, il représente néanmoins une assistance. Ce qui permet de réduire la durée du recueil de près de trois mois.

La principale contrainte d'ETS repose sur l'utilisation d'une grille d'évaluation structurée de façon bipolaire : une propriété et son contraire. Rien ne laisse supposer que les connaissances de l'expert soient systématiquement identifiables par des paires antinomiques de constructions mentales. Les grilles d'évaluation empêchent toute nuance dans le jugement de l'expert, qui est contraint de s'exprimer en fonction des extrémités des paires de propriétés. EAR -Elicit Analyze Refine- (Plaza et Lopez De Mantaras, 1987 et 1989) remédie à cette lacune en proposant à l'expert des valeurs intermédiaires dans ses constructions mentales. Ainsi des valeurs linguistiques ordonnées jalonnent les deux extrémités de chaque paire de propriétés énoncées par l'expert. Par exemple, le couple {Froid, Chaud} est-il remplacé par {Glacé, Givré, Froid, Tiède, Chaud, Brûlant}. Puis, selon les mêmes principes qu'ETS, l'analyse des grilles d'évaluation d'EAR génère une base de connaissances qui a la particularité d'être indépendante des contraintes de représentation ou d'implémentation.

Afin de limiter l'influence du mode de représentation des connaissances sur leur recueil, le choix de la notation des connaissances se fait a posteriori. Par conséquent, la base ainsi générée est utilisable par de nombreux environnements de développement.

De la même façon qu'ETS, EAR s'avère difficile, voire impossible à utiliser dans le cas d'expertise à forte teneur en connaissances heuristiques. De plus, ces dispositifs n'intègrent pas de modèle de la tâche de l'expert et laissent à penser que la cognition humaine peut s'exprimer, sinon se formaliser, sous la forme d'un système de règles de production déductible à partir d'une grille de classification.

*ETS, EAR et SMEE réduisent l'expertise aux connaissances verbalisées dans les grilles de classification.*

Avec Structured Methodology for Eliciting Expertise -SMEE-, Garg-Janardan et Salvendy (1988) enrichissent la technique de grilles de classification en l'insérant dans une méthode de conduite de projet de système expert. Cette méthode repose sur des phases visant, entre autres choses, au recueil et à la transformation des connaissances en un modèle d'expertise implémentable. SMEE représente donc une évolution des outils orientés "grille de classification" vers une méthodologie intégrée de conception.

En résumé, l'élaboration d'un modèle d'expertise basée sur la technique des entretiens d'inventaire des connaissances a donné lieu à de nombreuses recherches et applications. Cependant, ces dernières présentent des faiblesses chaque fois que l'expertise comprend des heuristiques et des connaissances procédurales.

## 2.5.4. L'élaboration d'un modèle d'expertise fondée sur l'étude des tâches d'expertise

*Disposer d'un modèle de tâche peut faciliter la modélisation de l'expertise.*

L'élaboration d'un modèle d'expertise peut s'appuyer sur un modèle de la tâche d'expertise. Son principal avantage est de mettre à disposition du concepteur un modèle de tâche. Son principal défaut est souvent d'obliger l'expert à se conformer plus ou moins fortement à ce modèle. Mais cette contrainte fait aussi sa force : ces outils d'aide ont l'avantage de fournir un cadre formel d'automatisation des tâches d'expertise. Nous présentons ci-dessous trois types de modèles.

### ***La tâche d'expertise en diagnostic***

A l'inverse d'ETS ou d'EAR qui se veulent génériques et adaptés à un grand nombre de tâches, MORE (Kahn, Nowlan et McDermott, 1985 ; Kahn 1988) se limite exclusivement aux tâches de diagnostic de processus industriels de fabrication. Globalement une tâche de diagnostic se caractérise par l'identification d'un certain nombre de dysfonctionnements ou symptômes, desquels un expert infère des problèmes sur la qualité des produits fabriqués ou sur la fiabilité de la chaîne de production. Dans ce cadre, certes restreint, MORE fournit une méthodologie d'acquisition des connaissances qui repose en premier lieu sur l'analyse des stratégies des cognitiens pour collecter les connaissances, en deuxième lieu sur un modèle causal de la tâche de diagnostic et en troisième lieu ce modèle est utilisé pour générer des règles et pour identifier des inconsistances de la base de connaissances (voir annexes).

Une approche complémentaire de celle de MORE est proposée par Politakis et Weiss (1985). Leur outil, SEEK, vise à comparer le modèle de performance du modèle de compétence de l'expert. SEEK repose sur un modèle constitué hiérarchiquement et prenant en compte des connaissances sur les sous-buts et les pré-requis de l'expert placé en situation de diagnostic. SEEK tente de comparer le modèle de l'expert à celui de la machine en expérimentant les ressources de la base de connaissances.

### ***La tâche d'expertise en conception***

Alors que MORE centre ses investigations sur les tâches de diagnostic, SALT (Marcus, McDermott, Wang, 1985 ; Marcus, 1988) est destiné au recueil de tâches de conception et de maintenance. Il collecte les connaissances des experts et génère une base de connaissances spécifique au domaine d'expertise, compilée par la suite en règles.

SALT envisage le recueil de connaissances sous la forme de deux systèmes : interrogation de l'expert et traduction des connaissances en un formalisme informatique. Comme nous l'avons déjà souligné pour MORE, SALT dispose d'un modèle d'interrogation qui oblige l'expert à formuler ses connaissances en fonction d'une typologie de rôles qu'elles peuvent remplir. De fait, il n'est pas évident que l'expertise se conforme au modèle qui lui est proposé. D'ailleurs, si SALT a été initialement réalisé à partir de la conception d'un système expert d'aide à la configuration d'ascenseur, il a dû être légè-

rement modifié pour être adapté à la sélection des câbles pour ascenseur (voir annexes).

### ***La tâche d'expertise en maintenance***

Test est un système expert destiné au diagnostic de pannes. Il est accompagné d'un outil, TDE -Test Development Environment- (Kahn et al, 1987) servant à construire et à modéliser la base de connaissances. TDE offre un mode de résolution de problème indépendant du domaine. Il fournit d'une part une méthode d'interrogation directe de la base de connaissances par des items graphiques, et d'autre part une interrogation sur un éditeur guidée par le système pour les nouveaux utilisateurs (voir annexes).

Le Beux et Fontaine (1986) proposent SUPER, un système d'acquisition de connaissances dans le domaine du diagnostic. SUPER s'attache à vérifier la cohérence de la base de connaissances à partir d'un réseau de règles, ce qui permet de tester et d'améliorer la consistance de la base. De même que SUPER s'intéresse à la gestion de la base de connaissances, TEREISIAS (Davis, 1977) vise à améliorer la qualité d'une base de connaissances, en fournissant à l'expert les moyens de rechercher les causes d'une erreur de diagnostic. De la sorte, l'expert est amené à expliciter de nouvelles règles à partir des lacunes de la base de connaissances.

### ***Intérêts et limites des modèles orientés "tâche d'expertise"***

***Généralement l'expert est invité à se conformer à ce que le modèle attend de lui.***

Les outils d'acquisition et d'élaboration d'expertise spécialisés sur des types spécifiques d'expertise reposent sur une approche simplificatrice du recueil. Ils proposent à la fois un modèle d'interview qui, manquant de souplesse, oblige l'expert à se conformer à ce qu'on attend de lui. De plus, l'expert doit généralement s'exprimer en les termes du modèle et non en ses propres termes. De ce fait, un apprentissage de l'outil semble souvent nécessaire pour permettre à l'expert d'assimiler les contraintes de l'outil. En revanche, ces modèles facilitent la conception d'une maquette de système expert en servant souvent à survoler l'expertise. Quant aux modèles de tâches qu'ils intègrent, ils paraissent guidés par des considérations techniques. Pour Le Beux et Fontaine (1986) par exemple, les règles sont un moyen naturel d'expression des connaissances, ce qui implique une vision technique de la cognition humaine. Malgré leurs inconvénients majeurs et manifestes, ces outils peuvent aider les concepteurs et les experts à mieux se comprendre en fournissant une base commune à des entretiens visant à approfondir l'expertise. De

surcroît, ces systèmes ont permis de faire des progrès considérables dans la compréhension du goulot d'étranglement que représente le recueil d'expertise. En effet, les recherches sont fructueuses comme le prouvent les nombreux systèmes d'aide au recueil d'expertise comme ARIADNA (Morgoev, 1989), KREME (Abrett et Burstein, 1987), KNACK (Klinker, 1988) ou encore MOLE (Eshelman, 1988). Ainsi que le souligne McDermott (1988), ces outils sont un premier pas de franchi dans le domaine de la classification des méthodes de résolution de problème. Nonobstant leurs imperfections, ces recherches indiquent qu'il existe des régularités dans les activités cognitives aussi complexes que les expertises.

Cependant, deux problèmes restent non résolus.

- (a) Le problème de la variabilité des tâches d'expertise.  
Les méthodes d'acquisition des connaissances (comme par exemple les stratégies de MORE, voir annexes) ont été développées dans le but de répondre à un problème posé par un type spécifique d'expertise. Si bien que pour être étendus à d'autres domaines, ces outils doivent être redéfinis et reprogrammés.
- (b) Le problème de la complétude et de l'exhaustivité du modèle.  
Les outils intègrent un modèle implicite de l'expertise, qui définit les connaissances à expliciter et celles qui ne le sont pas. Le modèle ne travaille qu'avec les connaissances explicitées et bien évidemment, n'intègre pas ce qu'il ne peut pas prendre en compte. De fait, l'expert est obligé de s'accommoder de ce modèle en transformant ses connaissances de manière à ce qu'elles rentrent dans le modèle. Par conséquent les tests, modifications et corrections de la base de connaissances risquent d'engendrer des coûts importants pour des performances pouvant être faibles.

Malgré les imperfections évidentes des techniques de modélisation basées sur une modélisation de la tâche d'expertise, les recherches effectuées en ce domaine sont fécondes. Elles ont notamment défini des stratégies d'interviews, précisé des architectures de systèmes, établi des formes de représentation des connaissances et déterminé des algorithmes de simulation de la cognition humaine. En somme, ces recherches tendent à prouver que d'une part des régularités émergent des activités cognitives, et que d'autre part la caractérisation fonctionnelle des algorithmes de l'expertise est possible et représentable en machine.

Afin de pallier leurs faiblesses, des méthodologies et des outils

structurés d'élaboration d'un modèle d'expertise ont été développés.

## 2.5.5. L'élaboration d'un modèle d'expertise fondée sur la structuration des connaissances

*Leur objectif est de fournir au cognicien un cadre conceptuel qui lui permette de "saisir" l'expertise.*

Moins restrictifs que les précédentes démarches, les outils et méthodes de structuration des connaissances fournissent un cadre conceptuel pour élaborer un modèle d'expertise. Cette approche visait initialement à définir une méthodologie d'élaboration d'expertise. Elle s'oriente aujourd'hui vers le développement d'outils informatique permettant au cognicien de transformer l'expertise collectée à partir d'entretiens en un modèle. Ces méthodes d'élaboration mettent en évidence les propriétés structurelles des connaissances conceptuelles. Parmi celles-ci, KADS et KOD proposent une modélisation de la cognition, qui consiste à substituer des objets, des règles et des schémas à certaines connaissances énoncées par l'expert.

### *KADS, Knowledge Acquisition Documentation and Structuring system*

*KADS propose une démarche de décomposition de l'expertise.*

KADS (Hayward et al, 1987 ; Barthélemy et al, 1988 ; Hesketh et al, 1989) est une méthodologie de conception de systèmes à base de connaissances. Elle propose un langage de modélisation de l'expertise permettant d'exprimer la sémantique des connaissances de l'expert. En partant de l'idée généralement admise que les experts manipulent un ensemble très diversifié de connaissances, KADS dissocie (figure 5) :

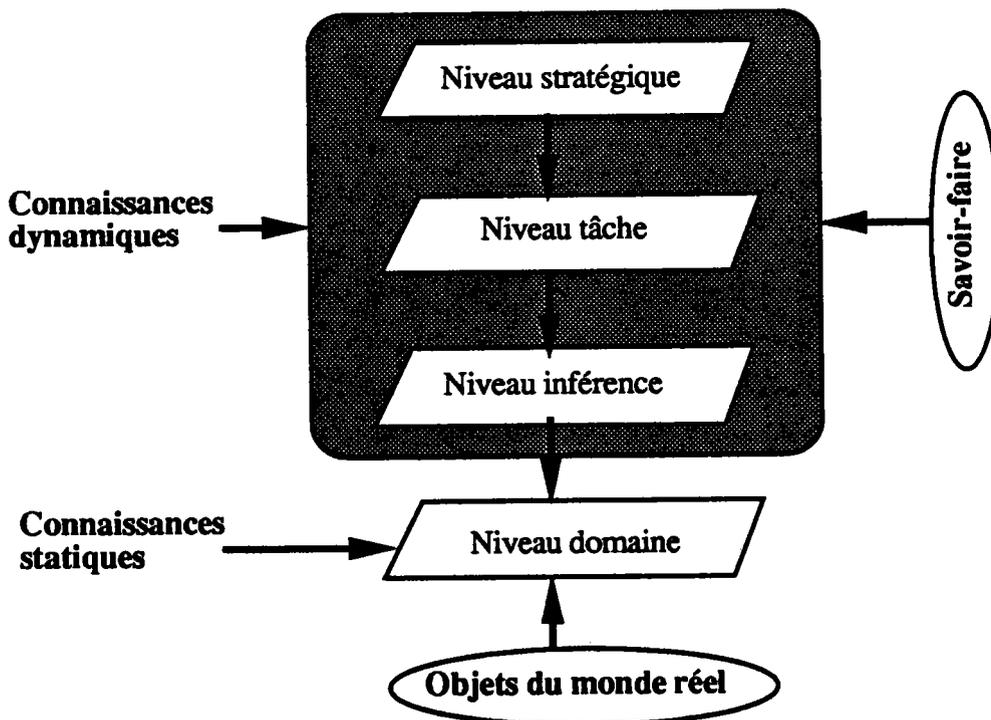
*KADS distingue les connaissances statiques et dynamiques.*

- les connaissances statiques du domaine, qui concernent les concepts et les relations conceptuelles, c'est-à-dire les connaissances exprimant le savoir de l'expert ;
- les connaissances dynamiques qui mettent en évidence les mécanismes de raisonnement et la façon dont sont exploitées les connaissances statiques. Ces dernières expriment le savoir-faire de l'expert.

L'élaboration d'un modèle d'expertise précise cette décomposition et décrit l'ensemble des connaissances à travers quatre niveaux. Le premier, le niveau domaine, contient les connaissances statiques. L'ensemble des connaissances du domaine est obtenu à partir d'une abstraction des objets du monde réel. Ainsi, le niveau domaine

s'attache à décrire le "jargon" de l'expert du point de vue sémantique. Le deuxième, le niveau stratégique, regroupe les connaissances de plus haut niveau sémantique. A ce niveau sont élaborés les plans de résolution de problème en fonction du type de problème et de la situation présentée. Le niveau stratégique adapte le comportement du système à l'environnement existant. Il détermine donc la flexibilité du système. D'erechef, les plans élaborés, c'est-à-dire les buts à atteindre, sont contrôlés et peuvent être modifiés. Le troisième, le niveau tâche, génère les moyens utilisés pour atteindre les buts. Les moyens sont représentés par une structure inférentielle, obtenue par la combinaison de primitives d'inférences. Enfin le quatrième, le niveau inférence, effectue le lien entre le niveau domaine et les niveaux contenant les connaissances dynamiques. Il est décrit en termes de métaclasse et de primitives d'inférences. Une méta-classe rassemble les concepts en fonction du rôle qu'ils jouent dans le processus de raisonnement. Une primitive d'inférence constitue une fonction élémentaire du raisonnement. L'ensemble des primitives décrit l'ensemble des inférences pouvant être faites sur un domaine.

Figure 5. Les quatre niveaux du modèle conceptuel de KADS (d'après Barthélemy et al, 1988)



Ainsi, KADS préconise une lecture des énoncés de l'expert en

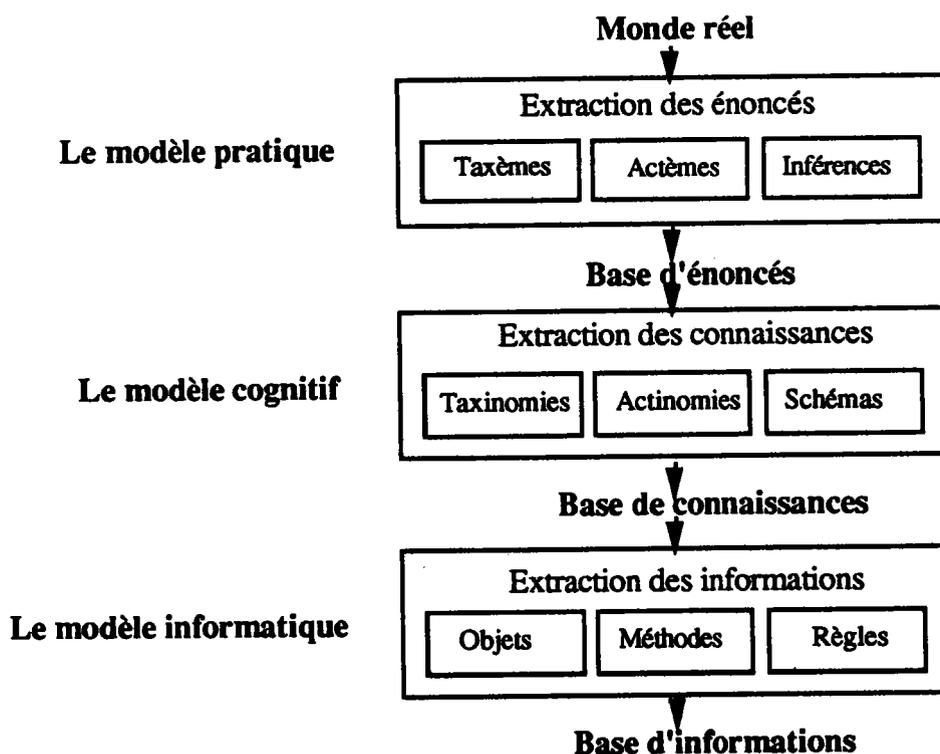
quatre niveaux, et dissocie les connaissances statiques des connaissances dynamiques. Sur la base des énoncés recueillis, le processus d'analyse de l'expertise s'applique d'une part à définir les fonctions du système et des utilisateurs, leurs tâches et sous-tâches et d'autre part à "ranger" les données dans les quatre structures décrites.

### **KOD, Knowledge Oriented Design**

*KOD propose une démarche de traduction du modèle pratique de l'expert en un modèle informatique.*

Pour Vogel (1988a, 1988b, 1989), le recueil d'expertise se représente sous la forme d'une grille construite autour de trois niveaux - pratique, cognitif et informatique- et de trois paradigmes -représentation statique, action et interprétation-. La démarche KOD consiste à utiliser les techniques de recueil pour constituer une base d'énoncés (niveau pratique), puis à assembler les structures de représentation sous-jacentes décrites en termes de classification, de plans d'action et de schémas d'interprétation (niveau cognitif). Enfin, les outils proposés par les moyens de programmation prennent le relais pour l'implémentation du système expert (niveau informatique).

Figure 6. Les trois niveaux du recueil d'expertise (d'après Vogel, 1988a, 1988b)



Chacun des modèles comprend trois éléments (figure 6).

- (a) Dans le modèle pratique de l'expert se trouve des formes statiques, des formes causatives et des formes déclaratives, ou encore dénommées taxèmes, actèmes et inférences.
- (b) Au niveau du modèle cognitif résident respectivement des taxonomies, des actinomies et des schémas. Ces éléments décrivent en fait le modèle d'expertise.
- (c) Enfin le modèle informatique fait apparaître des objets, des méthodes et des règles.

L'élaboration d'un modèle d'expertise, décrite comme modèle cognitif, passe par la recherche dans les énoncés de l'expert des formes nominales étant des indices de connaissances catégorielles et conceptuelles (les taxèmes), de connaissances procédurales et déclaratives (les actèmes) et de connaissances heuristiques (les inférences). Sur la base d'un pivot formé autour du modèle cognitif, KOD met donc en parallèle une linguistique structurale des énoncés avec des formes informatiques de représentation et d'activation des connaissances.

*La modélisation vise à atteindre et à formaliser des structures de l'expertise.*

Globalement, KADS et KOD proposent une approche structurale des propriétés de la connaissance. Ils envisagent la langue et la connaissance comme constituant un certain nombre de structures que le cognicien peut atteindre à partir des niveaux (KADS) ou modèles (KOD) empiriques. De fait, ils considèrent explicitement que le clivage entre les connaissances statiques ou taxèmes et les connaissances dynamiques ou actèmes constitue une propriété intrinsèque de l'expertise. Ces modèles fournissent en quelque sorte une grille d'analyse de contenu de l'expertise verbalisée. Ils permettent des descriptions fonctionnelles de l'expertise mais délaissent quelque peu la validation du modèle d'expertise, ce qui, on peut le comprendre, risquerait éventuellement de remettre en cause leur modèle initial. Malgré cette faiblesse, KADS et KOD offrent un guide de conduite de projet en retraçant les grandes phases du cycle de vie d'un système expert. De plus, tous deux intègrent des recherches menées en sciences cognitives (anthropologie structurale et cognitive pour KOD, psychologie cognitive pour KADS) et sont en cours d'informatisation. Il en ressort que les sciences cognitives et plus particulièrement la psychologie et la linguistique sont placées au centre du processus de conception.

## 2.5.6. Discussion

Initialement conçue autour du formalisme des arbres de décisions, la modélisation de l'expertise est en évolution constante. Elle tient

de plus en plus compte de données sur la cognition humaine. Dans tous les cas, le recueil d'expertise est vu comme un processus de transformation des connaissances énoncées sous une forme verbale en une représentation formelle implémentable. Cette transformation est envisagée selon cinq orientations :

- arbre de décisions ;
- système inductif ;
- grille de classification ;
- types des tâches d'expertise ;
- structuration des connaissances.

Or, ces orientations ont des limites évidentes. Notamment les arbres de décision, les systèmes inductifs et les grilles de classification laissent à penser que la connaissance humaine est toujours déductible d'une technique de recueil de connaissances. Par contre, les démarches centrées sur les tâches d'expertise et sur la structuration des connaissances insistent sur les propriétés cognitives et/ou linguistiques des connaissances énoncées par l'expert.

### ***Modèles ou moules à raisonnements ?***

En définitive, toutes ces approches de l'élaboration de l'expertise proposent des moules et comme le dit Blanché (cité par Borillo, 1984) : "un moule à raisonnement n'est pas un raisonnement, pas plus qu'un moule à gâteau ne peut être mangé comme dessert". Cependant, leur intérêt majeur est d'aider le cognicien :

- à la documentation de l'expertise (KADS, KOD) ;
- à l'observation de l'expertise (ETS, EAR, SMEE) ;
- au maquetage par l'expert de son futur système (ETS, KREME, TDE, MORE, SALT...) ;
- à la définition et la saisie de situation d'expertise (ETS, EAR, SMEE, KADS, KOD, MORE...) ;
- et, en somme, à la spécification des besoins de l'utilisateur.

Malgré l'accroissement de la prise en compte des caractéristiques cognitives de l'expert dans des outils informatiques, le cognicien n'est pas pour autant évincé du processus de conception. En effet, la "tendance culturelle" de l'informatique à vouloir tout informatiser ne donne pour l'instant que des résultats assez élémentaires et des modélisations quelque peu triviales.

D'une manière générale, les fondements théoriques de la modélisation de la cognition sont faibles. Fondés sur la séparation informaticienne entre les connaissances (base de connaissances) et les mécanismes d'activation des connaissances (moteur d'inférences), les modèles KADS et KOD, opèrent une distinction forte entre des connaissances statiques et dynamiques, alors que ce clivage semble psychologiquement arbitraire. Quant aux modèles d'aide à la notation

des connaissances (arbres de décisions, règles de production, langage orienté objets, modèles de tâches...), ils comportent tous des insuffisances. Le problème de la modélisation est donc largement indéterminé.

---

## 2.6. L'IMPLEMENTATION

---

*Maquettage, prototypage et dispositif final sont trois étapes de la programmation*

L'implémentation correspond à la programmation des spécifications du modèle d'expertise. Elle a pour objectif la mise en informatique du modèle et des interfaces homme-machine. Sans vouloir détailler ce point, ce qui tiendrait une place disproportionnée dans cette thèse, notons tout de même que la réalisation informatique d'un système à base de connaissances se déroule généralement en plusieurs étapes : maquette, prototype, et produit final opérationnel. La maquette et le prototype consistent en des versions du système qui ne fonctionnent pas encore totalement. Tandis qu'une maquette est un modèle réduit, un prototype comprend l'ensemble des fonctionnalités du futur système, avec des performances qui n'atteignent pas leur maximum. Illustrons ces propos par une analogie dans le domaine de l'aérospatial. Limitée au cadre de l'expérimentation en laboratoire, une maquette d'avion ne vole pas en grandeur nature. Les essais ont pour finalité de décider de la faisabilité et de la validité du produit. Par contre, le prototype de l'avion vole, mais les ressources de son fonctionnement demeurent insuffisantes. Ce n'est qu'une fois fabriqué en grande série, que l'avion sera un produit fonctionnant à pleines ressources.

L'avantage du maquettage est de pouvoir disposer à moindre coût d'une première version du système. Celle-ci peut déjà être validée auprès des utilisateurs. Elle offre un référentiel aux futurs développements. Le prototypage, quant à lui, permet d'ajuster les connaissances entre les concepteurs et les utilisateurs. Il donne un feed-back aux utilisateurs quant à la manière dont les ingénieurs conçoivent leur futur travail. Ces deux étapes prennent également en compte des problèmes qui n'avaient pas été abordés jusqu'à la concrétisation du logiciel. Ainsi, la maquette et le prototype sont des spécifications du système expert qui précipitent l'évaluation et la correction des caractéristiques de l'outil.

*La conception est un processus itératif : analyse, conception, programmation, validation, maintenance.*

Deux démarches sont possibles en matière d'implémentation de système expert. La première considère que chacune des étapes, maquetage et prototypage, aboutissent à des spécifications qui annulent tout ce qui a été fait précédemment. La seconde considère explicitement la conception comme un processus itératif. Dans cet autre cas, le logiciel final est compris à l'instar d'une évolution du prototype, qui lui même est vu comme une extension de la maquette. Si telle est la volonté des concepteurs, l'implémentation de l'interface et de l'application doivent être faites de façon modulaire afin de faciliter la maintenance du système expert et de récupérer une partie du développement effectué lors du prototypage pour la réutiliser ensuite. De plus, sur le plan de la validation, plus un système est modulaire, plus il est facilement testable (chaque module pouvant être testé séparément) et plus il est aisé de le corriger (la correction d'un module n'affectant pas l'ensemble de l'application).

---

## 2.7. TEST ET VALIDATION DU SYSTEME EXPERT

---

La validation du modèle s'oppose à l'élaboration du modèle. Alors que l'élaboration a pour finalité de déterminer les faits qui valident le modèle, la validation doit définir les faits qui l'invalident. Cette philosophie de la validation est très présente en informatique, notamment lors de la validation du fonctionnement d'applications industrielles, où l'informatique est dite "embarquée" (par exemple : informatique dans le domaine aérospatial). Les informaticiens ne cherchent pas à montrer que leur application fonctionne, bien au contraire, ils cherchent à identifier toutes les sources de dysfonctionnements possibles afin de garantir par la suite un niveau élevé de performance et de qualité.

*Un système expert est un dispositif "vivant" : chaque modification devrait impliquer une évaluation.*

La réalisation d'un système expert implique une évaluation régulière de sa base de connaissances. Ceci représente un processus continu démarrant lors du maquetage et procédant par affinements successifs en fonction des modifications de la base de connaissances. Bien qu'il y ait un consensus sur la nécessité de la validation des systèmes experts (Bonnet et al, 1986 ; Benchimol et al, 1986) peu de recherches menées en informatiques mentionnent les données à valider ainsi que les protocoles expérimentaux à mettre en oeuvre pour tester la base de connaissances (Ajenstat et al, 1990). A contrario, nombreux et anciens sont les travaux en psychologie qui

s'intéressent à la validation des modèles de simulation d'activité cognitive. Dans le cadre de ce champ de recherche, la validation est envisagée de deux façons complémentaires : extrinsèque et intrinsèque. La validation extrinsèque propose des critères d'évaluation centrés sur l'utilisation du système dans l'environnement de travail : satisfaction des utilisateurs, acceptation, facilité d'utilisation. A l'inverse, la validation intrinsèque s'attache à évaluer les compétences et les performances du modèle de simulation, grâce à l'apport d'outils statistiques (Lecoutre et al, 1988), à l'analyse de protocoles individuels (Richard et al, 1988), ou encore à des tests d'acceptabilité (Gonzalez, 1988).

## 2.7.1. La validation extrinsèque d'un système expert

La validation extrinsèque vise à analyser au niveau du système de travail, les conditions d'utilisation du système, en particulier l'intégration technique et pratique de l'outil sur le lieu de travail.

### 2.7.1.1. La validation extrinsèque de l'intégration technique

*La première forme de validation est celle du système d'informations où s'intègre le dispositif d'aide.*

La condition préalable à toute validation consiste en la validité des supports techniques sur lesquels se greffe le système expert. Il s'agit de l'intégration technique de l'outil dans le système d'informatique de l'entreprise. Généralement, on considère que le système doit être conçu de façon modulaire afin de maximiser sa maintenance et son évolution. De plus, des sources d'interférences engendrées par la mise en place du système dans un circuit technique d'informations (protocole réseau différents...) peuvent apparaître.

### 2.7.1.2. La validation extrinsèque de l'interface homme-système

*La deuxième forme de validation est celle de l'ergonomie de l'interface.*

Cette étape de la validation consiste en la rectification ou la ratification de l'interface utilisateur par de petits protocoles expérimentaux, destinés à mesurer quantitativement et/ou qualitativement la compatibilité homme-logiciel-tâche. Idéalement, les tests doivent déboucher sur une validation de l'interface. Généralement, ils permettent de spécifier des modifications de certaines caractéristiques de l'interface utilisateur, que la maintenance devra prendre en compte afin d'améliorer la compatibilité homme-logiciel.

Les interfaces ne sont pas immuables, elles évoluent. Les programmeurs sont souvent trop impliqués dans leur outil, et ne peuvent donc prévoir les réactions des utilisateurs. De la sorte, les interfaces doivent être testées auprès des utilisateurs finaux. Communément on admet que les tests doivent indiquer si les logiciels répondent aux besoins des utilisateurs. En fait, les tests doivent surtout s'attacher à démontrer le contraire, c'est-à-dire que le logiciel ne fonctionne pas. Plus précisément, il s'agit d'identifier les limites des caractéristiques du dialogue et de proposer des aménagements.

Le but des tests de l'interface est de mesurer les performances du système homme-logiciel, et la compatibilité des fonctionnalités de l'interface avec le fonctionnement cognitif de l'opérateur et sa tâche. Ce but peut se décliner en deux autres :

- (a) mesurer la facilité d'apprentissage et d'utilisation ;
- (b) déterminer les obstacles et contraintes que rencontrent les utilisateurs avec l'interface et les dispositifs d'assistance.

Dans le cycle de vie d'un logiciel, on trouve deux étapes où le logiciel doit être impérativement testé auprès des utilisateurs. Le premier test doit être effectué lorsque l'interface utilisateur a été implémentée. Le second apparaît uniquement si le logiciel est modifié. Dans ce dernier cas, les modifications doivent être testées afin de s'assurer que les performances sont correctes et que les nouvelles fonctionnalités correspondent aux attentes des utilisateurs. En addition de ceci, l'ensemble des caractéristiques de l'interfaces doivent être retestées afin de détecter si les modifications n'ont pas eu d'effets sur certains aspects du dialogue.

### 2.7.1.3. La validation extrinsèque de l'utilisation

*La troisième forme de validation est celle qui concerne les conditions d'utilisation.*

La validation extrinsèque de l'utilisation s'attache à déterminer la capacité du système à coopérer avec l'utilisateur lorsque ce dernier se trouve en situation réelle de travail. Elle porte sur les conditions d'emploi du système. Centrée sur l'analyse de l'utilisation réelle du système dans les situations de travail, la validation extrinsèque vise à étudier le niveau d'aide apportée aux utilisateurs. L'analyse de l'activité doit identifier les inadéquations entre la tâche informatisée et la tâche réelle.

***Efficacité, employabilité et acceptabilité représentent trois critères généraux de validation des systèmes à base de connaissances.***

Ce type de validation s'applique à montrer si les questions du système et les justifications de ses raisonnements permettent à l'utilisateur d'accéder à des connaissances suffisamment pertinentes pour que l'opérateur puisse poursuivre sa tâche. La validation porte donc sur le degré de coopération entre l'utilisateur et le système expert. Pour Chabaud et Soubie (1990), ce processus de coopération s'analyse selon trois axes.

- (a) L'efficacité confère au système sa compétence d'aide. L'expertise du système doit aider l'utilisateur au terme de son raisonnement.
- (b) L'employabilité évalue les contraintes réelles intervenant dans le travail de l'utilisateur lorsqu'il résout un problème avec le système.
- (c) L'acceptabilité renvoie d'une part à l'acceptation par l'utilisateur des justifications du système expert, et d'autre part à la pertinence des connaissances avec lesquelles travaille le système.

## **2.7.2. La validation intrinsèque d'une modélisation de la cognition**

La validation intrinsèque est centrée sur le modèle implémenté dans le système.

### **2.7.2.1. La validation intrinsèque technique**

***La quatrième forme de validation concerne les jeux d'essais.***

La validation intrinsèque technique ne repose non pas sur l'évaluation de l'intégration du système dans le circuit d'information, mais sur la qualité technique interne au système. Par des jeux d'essais, les ingénieurs sont chargés de vérifier la cohérence de la base de connaissances, la consistance de la base de faits... Il ne s'agit pas de faire effectuer les jeux d'essais par les utilisateurs, mais de voir s'ils anticipent les différents traitements (calcul, sauvegarde, édition...) que le logiciel doit effectuer, et donc, si les caractéristiques du système leur permettent d'inférer le fonctionnement du logiciel. En bref, les ingénieurs évaluent les capacités du système à résoudre les problèmes qu'on lui soumet. Cette forme de validation, bien que fondamentale, est effectuée hors de tout contexte de réalisation du travail. De fait, les exigences du travail et les représentations des utilisateurs ne sont pas prises en compte dans la validation, alors qu'elles interviennent massivement dans leur travail réel (Chabaud et Soubie, 1990).

*Elle peut évaluer le respect du cahier des charges.*

Une autre forme de validation consiste à mesurer l'écart entre la demande des utilisateurs, stipulée dans le cahier des charges, et le système final. De ce point de vue, la validation du système vise au respect du cahier des charges, c'est-à-dire aux consignes données à l'équipe de développement sur :

- les fonctionnalités dont les utilisateurs ont un besoin réel ;
- le temps de réponse du système ;
- les caractéristiques du matériel ;
- la date de mise en service du nouveau logiciel ;
- les performances du système ;
- la fréquence d'utilisation ;
- la participation des utilisateurs aux étapes du projet ;
- le rôle actif ou passif de l'utilisateur ;
- le rôle coopératif ou palliatif du logiciel ;
- les critères de sécurité du logiciel et de l'utilisateur...

En définitive, la validation intrinsèque technique, bien que nécessaire, ne prend pas en compte le contexte de réalisation du travail, ce qui tend à limiter sa portée.

### 2.7.2.2.

## La validation intrinsèque de la modélisation cognitive par la simulation du modèle

*La cinquième forme de validation porte sur la modélisation de la cognition*

En plus des formes de validation préalablement présentées, la validation d'un système expert doit également porter sur le test de la modélisation de la cognition implantée en machine, par la confrontation des experts humains avec la machine. Ainsi, la validation intrinsèque du modèle de cognition repose sur la confrontation du modèle informatisé avec les données empiriques : pour un problème donné, la réponse du système expert doit être identique avec celle des experts humains et son raisonnement accepté par les experts.

Escarabajal (1988) envisage la validation d'un modèle de simulation selon trois points de vue distincts.

- (a) Le premier concerne "l'identité des sorties" : les réponses de la machine doivent être les mêmes que celle des experts humains. C'est une condition nécessaire à la validation, mais non suffisante pour conclure à la validité du modèle, l'identité des réponses n'impliquant pas une identité des processus artificiels et naturels.
- (b) Le deuxième est "l'identité des processus" : la validation doit s'attacher à montrer si les changements d'états en machine correspondent à une succession d'états du système cognitif humain.

*Valider, c'est prouver l'identité.*

- (c) Le troisième niveau de validation est celui de "l'invariance du modèle" : la validation doit montrer si le modèle de simulation, dans sa configuration structurelle, reste identique à lui-même. Autrement dit, il s'agit de savoir si les différents composants du modèle (connaissances, mécanismes d'inférence...) sont spécifiques à un contexte d'utilisation ou bien s'ils ont une portée plus générale. Bien qu'importante, la validation de ce niveau nous semble délicate, tant l'expert peut faire preuve d'une souplesse cognitive que les machines ne peuvent aujourd'hui reproduire.

Pour cet auteur, la validation d'un modèle repose donc sur le critère d'identité, décliné au niveau des sorties, des processus et de l'invariance du modèle. Par conséquent, la validation est vue sous un angle précis mais étroit, car elle n'autorise qu'une conclusion définitive de validité ou de non-validité.

*L'identité étant un critère puissant, mais trop strict de validation, l'acceptabilité est proposée.*

Mis à l'épreuve des faits, ce qui correspond à l'objet d'une démarche de validation, un modèle ne peut être jugé selon les seuls critères de validité ou de non-validité. En effet, il se peut que débouchant sur des conclusions non-identiques avec celles des experts humains, ces derniers jugent tout de même la décision de la machine comme acceptable, ou encore, mieux adaptée que la leur. Ainsi, au critère d'identité s'ajoute celui des attentes des experts humains. Par exemple, dans le cas de la prise de risque, comme c'est le cas dans le domaine de l'assurance-vie ou de la spéculation financière, il se peut que les experts attendent du système, non pas une identité de décision, mais une décision majorée, qui maximise les risques qu'ils encourrent. Dans ce cas, il faut prendre en compte dans la validation du système expert, non pas l'identité des décisions, mais l'acceptabilité des décisions de la machine par l'expert. Sous cet angle, la représentation que les individus ont de la décision du système est un paramètre important de validation. En somme, dans le contexte du travail de l'utilisateur, le système de simulation focalise un certain nombre d'attentes qui interviennent à divers degrés dans l'acceptabilité du système par les utilisateurs.

*La validation du modèle renvoie à l'administration de la preuve.*

Le modèle est bien évidemment un système de description et de prédiction d'une activité de décision. Lors de sa validation on retrouvera tous les problèmes inhérents à l'administration de la preuve que nous avons déjà discuté dans le paragraphe sur l'entretien de validation. Le modèle est également un modèle hypothétique (Gonzalez, 1988), car il repose sur des hypothèses plus ou moins certaines, pouvant être mises à l'épreuve de la réalité. Et

comme le souligne cet auteur, si de tels modèles rendent compte d'activités cognitives, il faut s'interroger en quoi ils en rendent compte de manière effective.

En fait, valider un modèle de simulation revient à définir son champ d'acceptabilité. Et, l'interprétation du corpus d'observation issu de la validation doit permettre de dégager trois remarques sur le modèle.

- (a) Premièrement, le modèle artificiel s'avère être identique au modèle naturel. L'identité étant appréciée par les critères fournis par Escarabajal (1988).
- (b) Deuxièmement, le modèle est acceptable : le degré d'accord entre les conclusions et les processus de décision de la machine et de l'homme, sont jugés satisfaisant.
- (c) Troisièmement, les données de la validation démentissent les prédictions du modèle. Pour Gonzalez (1988), cette invalidation demande à être interprétée "car la dynamique de recherche laisse plus souvent place à un jeu de révisions plutôt que de ruptures. L'interprétation tentera d'identifier ce que les faits établis remettent en cause : le modèle, certes, mais plus spécifiquement certains de ses aspects. Le fait qu'il échoue à rendre compte de nouvelles données d'observation reste compatible avec l'hypothèse d'une validité partielle du modèle qui, au prix d'une révision ou d'un ajustement, pourrait acquérir une validité plus large." Cependant, il est souvent difficile de détecter les aspects du modèle à remettre en cause. De même, il peut être ardu de déterminer si le modèle est invalidé car certains de ses composants sont inadaptés, ou bien s'il est controversé car en fait l'expert invoque un modèle totalement différent.

***La validation d'une modélisation cognitive est un jugement sur son acceptabilité.***

En définitive, les procédures de validations ne peuvent pas se limiter à ranger le modèle dans la classe des modèles valides ou dans celle des modèles non-valides. Car la validité d'un modèle de simulation est avant toute chose un jugement sur son acceptabilité. Concernant l'invalidité, elle doit être interprétée afin de déterminer les sources d'inadéquation du modèle et de les corriger pour étendre la validité du système. En effet, les interprétations déduites de la validation ne stoppent en rien le processus de recherche et de développement du modèle. De même, chaque modification conséquente du modèle, en l'occurrence de la base de connaissances, devrait être validée : la validation des bases de connaissances est à envisager comme un processus continu, sans fin, qui tend à amener le système expert vers un haut niveau de performance. De ce fait, la validation est non seule-

ment un processus de jugement sur l'acceptabilité du système expert, mais c'est également un moyen de corriger la base de connaissances de manière à ce que les prédictions erronées du passé ne puissent pas se reproduire.

De notre point de vue, parmi les concepts développés pour mesurer l'efficacité d'un modèle artificiel par rapport à un modèle naturel, les approches de l'identité (Escarabajal, 1988) ou de l'acceptabilité (Gonzalez, 1988) représentent un aspect particulier de la notion de "compatibilité cognitive" (Streitz, 1988), du moins c'est l'idée que nous développerons dans notre démarche.

### 2.7.3. Discussion

*L'efficacité  
d'un système  
d'aide dépend  
de l'utilisation  
qui en est faite.*

L'intégration des systèmes experts dans les systèmes de travail connaît des difficultés. La question de la validation, envisagée de façon extrinsèque et intrinsèque, est donc posée. Surtout étudiée sous l'angle de la qualité des bases de connaissances, la validation s'attache généralement à tester la performance du système par la comparaison des résultats du système à ceux de l'expert. Or, en plus de l'évaluation de la modélisation et de son implémentation, la validation doit porter sur l'utilisation du système. En effet, bien souvent l'utilisation du système expert est détournée (il est utilisé comme une base de données interrogeable rapidement) ou abandonnée (l'utilisateur ne trouvant pas ce qu'il cherche, stoppe sa consultation). Par conséquent, comme l'ont démontré Gonzalez et Faure (1988) : "l'aide qu'apporte un système s'inscrit dans l'utilisation qui en est faite".

Ainsi, une démarche de validation, si elle se prétend globale, doit donc étudier dans leur interdépendance les aspects ergonomiques, informatiques, cognitifs et psychologiques de la mise en place du dispositif. Les travaux présentés -axés sur la technicité, l'acceptabilité, l'utilisabilité et l'employabilité- nous permettent de dégager quatre niveaux de validation qui correspondent à quatre niveaux d'intégration du système (figure 7).

Figure 7. Critères et niveaux de validation des systèmes à base de connaissances.

Objectifs de la validation	Critères de validation	Méthodes de validation	Résultats attendus
Intégrité technique	Technicité	Jeux d'essais, Respects cahier des charges, Tests informatiques	Validation de l'intégration technique l'outil dans le système d'information
Intégrité cognitive	Acceptabilité	Confrontation des systèmes cognitifs (artificiel et naturel)	Validation du modèle d'expertise
Intégrité ergonomique	Utilisabilité	Analyse de l'ergonomie du système	Validation des interactions homme-ordinateur
Intégrité opératoire	Employabilité	Analyse de l'activité	Validation extrinsèque globale

Cependant, la validation d'une modélisation cognitive peut s'abstraire des exigences du travail des opérateurs, et porter uniquement sur une confrontation de l'homme avec la machine. C'est du moins l'optique que nous avons retenue pour évaluer la modélisation que nous avons effectuée.

En résumé, la validation des systèmes à base de connaissances repose sur l'évaluation de leur technicité, acceptabilité, utilisabilité et employabilité. Plus limitative, la validation de la modélisation cognitives ne s'attache qu'à mesurer l'acceptabilité par les experts des décisions, des raisonnements et des justifications engendrés par la simulation du modèle.

## 2.8. CONCLUSION SUR LA COLLECTE ET LA MODELISATION DE LA COGNITION

L'intérêt de notre domaine de recherche réside dans la mise en avant des principales étapes du processus de modélisation de la cognition.

### *Synthèse du domaine de la recherche.*

Nous avons souligné que l'expertise peut se définir comme une configuration de connaissances de compétence et de performance. A partir de cette définition, nous avons montré que le recueil d'expertise était une situation-problème où se produit un filtrage cognitif qui oblitère la modélisation et la simulation des connaissances. L'analyse des processus en œuvre lors du filtrage cognitif nous a conduit à préciser les caractéristiques des techniques de détermina-

tion d'expertise, et celles notamment de l'entretien de recueil d'expertise. Dans ce cadre, nous avons proposé une typologie empirique d'entretiens. Ensuite, l'étude de l'élaboration d'un modèle d'expertise nous a conduit à dégager cinq démarches de modélisation : arbres de décisions, systèmes inductifs, grilles de classifications, modèles des tâches d'expertise et outils de structuration des connaissances. Finalement, la présentation de l'étape de validation du modèle de simulation est venue clore ce chapitre, en nous indiquant les critères d'évaluation des systèmes à base de connaissances.

*Trois orientations de recherches se dégagent.*

Conjointement à ces développements, nous avons mis le doigt sur trois orientations de recherche de la modélisation de la cognition :

- **la modélisation des connaissances** et de leurs architectures dans les mémoires naturelles et artificielles, a été soulignée par l'étude des caractéristiques de l'expertise et de l'élaboration des modèles d'expertise ;
- **la modélisation de l'activation des connaissances** dans l'expertise humaine et dans les mécanismes automatiques d'inférence a été mise en exergue par la présentation des recherches menées sur les tâches d'expertise (MORE, SALT...) et les méthodes de structuration des connaissances (KADS et KOD) ;
- **la compatibilité entre les modèles naturel et artificiel**, a été mise en relief par l'analyse de la validation des modèles de simulation.

Ce sont ces trois points que nous allons étayer dans le chapitre suivant.

---

## 3. DEMARCHE DE MODELISATION

---

*Notre démarche s'inscrit dans le cadre des recherches menées sur la conception des systèmes à base de connaissances, et plus particulièrement sur l'élaboration d'un modèle d'expertise. Outre l'importance de la détermination de l'expertise, la construction d'un modèle d'expertise automatisable et compatible avec les raisonnements de l'expert humain est un problème essentiel de la conception de tels systèmes. Quant à notre méthodologie, elle s'appuie sur une présentation du terrain et de l'objet de la recherche, et concerne à la fois la détermination des connaissances, l'élaboration d'un modèle d'expertise, et la validation de ce modèle.*

---

### 3.1. PRINCIPES DE MODELISATION ET HYPOTHESES

---

Dans le cadre de la conception du système expert AndromED, relatif à l'évaluation du risque médical, nous sommes confrontés à l'élaboration d'un modèle formel de l'expertise. Dans ce but, les approches présentées dans le chapitre 2 nous ont permis d'établir que :

- (a) des régularités émergent des activités cognitives, aussi complexes soient-elles (Mc Dermott, 1988) ;
- (b) la caractérisation fonctionnelle des algorithmes de l'expertise est possible et représentable en machine (Marcus, 1988 ; Boose, 1986 ; Klincker, 1988) ;
- (c) cette caractérisation de l'expertise passe par la recherche d'un modèle (Barthélemy et al, 1988 ; Vogel, 1988a, 1988b, 1989) ;

- (d) les modèles d'expertise reposent systématiquement sur des considérations à propos de la classification des connaissances et de l'activation des connaissances (Boose, 1986 ; Barthélemy et al, 1988 ; Vogel, 1988a, 1988b, 1989) ;
- (e) l'adéquation entre le modèle d'expertise et l'expert humain doit être la plus grande possible ; l'expert doit comprendre ce que l'on fait de la connaissance qu'il diffuse et ne doit en aucun cas être contraint de penser en fonction d'un modèle pré-établi de représentation des connaissances (Marcus, 1988).

*La catégorisation des connaissances, leur activation et la compatibilité cognitive constituent trois notions qui apparaissent lors de l'élaboration d'un modèle d'expertise.*

Derrière ces cinq points se trouvent trois questions fondamentales apparaissant de manière spécifique lors de l'élaboration d'un système à base de connaissances.

- (a) Selon quel(s) critère(s) la catégorisation des connaissances peut-elle être effectuée ?
- (b) Comment reconnaître et formaliser les mécanismes d'inférence des connaissances ?
- (c) Comment savoir si le modèle d'expertise reproduit de manière fonctionnellement adéquate l'expertise humaine ?

De notre point de vue, les réponses à ces questions impliquent le recours à la catégorisation, à l'inférence et à la compatibilité entre l'expert humain et la base de connaissances. Sur cette base, présentons les concepts généraux qui guident, selon nous, la spécification d'un modèle d'expertise.

### 3.1.1. Principes d'élaboration d'une modélisation de la cognition

Nous ne prétendons pas donner une définition originale de ce qu'est la cognition, si ce n'est de répéter que classiquement il s'agit des actes de connaissance. Aussi, nous nous rattacherons à la définition proposée par Codol (1988) : "la cognition désigne l'ensemble des activités par lesquelles toutes ces informations (informations de nos sens, de notre mémoire, véhiculées ou non par le langage, fournies au cours des relations que nous entretenons avec les autres individus ou groupes) sont traitées par un appareil psychique : comment il les reçoit, comment il les sélectionne, comment il les transforme et les organise, comment il construit ainsi des représentations de la réalité et élabore des connaissances". Ainsi, la cognition est le dispositif dynamique permettant la mise en oeuvre, l'acquisition, le traitement, le stockage et l'utilisation des connaissances. D'une manière large, on peut dissocier dans la cognition les traitements portant sur l'information sensorielle et ceux relatifs à l'information symbolique. Les premiers concernent surtout les processus

ascendants de captation des propriétés des stimulus. Les seconds, qui nous préoccupent essentiellement dans cette thèse, portent prioritairement sur l'attribution de significations, l'activation des connaissances et des représentations, et sur le déclenchement des inférences. Le traitement des informations symboliques construit donc des interprétations de situation, qui permettent aux individus d'aboutir à des décisions, à des actions, ou encore à de nouvelles connaissances.

Parmi les concepts mis en exergue par le traitement de l'information symbolique, deux semblent centraux : la catégorisation et l'activation des connaissances. Dans un premier temps, nous rappellerons que sans concept, la cognition serait "chaotique" (Smith et Medin, 1981). De la sorte, la modélisation d'une expertise renvoie directement au problème de la classification des concepts dans des catégories. Nous fournirons alors des éléments de compréhension sur la manière dont il est possible de formaliser l'acquisition et l'utilisation des concepts. Dans un second temps, nous aborderons le problème de l'activation dynamique des inférences, sous l'angle de la logique naturelle. De plus, nous verrons que si les systèmes experts ont pour objet la modélisation et la simulation d'un savoir-faire donné d'un domaine de connaissance, alors leur fonctionnement interne doit être compatible avec les processus cognitifs en jeu dans l'expertise humaine. Aussi dans un troisième temps, nous souhaitons présenter la théorie de la compatibilité cognitive.

### 3.1.1.1. La catégorisation des connaissances

Le premier problème que pose l'élaboration d'un système expert est l'organisation de sa mémoire, c'est-à-dire l'architecture de sa base de connaissances. Face à cette difficulté, la catégorisation apporte des éléments de réponse.

#### 3.1.1.1.1. Présentation du concept

*La catégorisation sert à organiser notre mémoire.*

La catégorisation est un processus qui permet l'organisation de notre représentation du monde. Les travaux ayant porté sur la classification des objets en mémoire (Rosch, 1976 ; Smith et Medin, 1981), ont été amenés à définir la notion de prototype, c'est-à-dire : "une représentation mentale d'un exemplaire d'une catégorie de stimulus. Le rôle d'un prototype ne consiste pas à représenter un exemplaire particulier, mais à assurer la fonction d'un exemplaire générique. Ainsi, lorsqu'il faut traiter des objets d'un certain type, le prototype est évoqué pour guider l'activité, grâce aux anticipa-

tions qu'il permet sur les propriétés de ces objets" (Hoc, 1987). Pour Rosch (1976), les catégories d'éléments de connaissances se structurent de façon définitive et sont codées cognitivement sous forme de prototypes des membres ayant le degré d'exemplarité le plus élevé d'une catégorie.

*La catégorisation a des fonctions déductives et inductives.*

Les individus infèrent les propriétés d'un concept à partir des propriétés de la catégorie à laquelle il appartient. La catégorisation est donc un pattern inducteur de perception. Elle rend également compte de raisonnements différenciateurs. Beauvois et Deschamps (1990) notent que la catégorisation a un double rôle : inductif et déductif. Sa fonction inductive est utile pour ranger nos connaissances dans des catégories, tandis que son aspect déductif sert à identifier des propriétés des concepts à partir de leur appartenance catégorielle.

La catégorisation est donc un moyen de comprendre l'univers cognitif de l'expert, et plus particulièrement les connaissances de compétence relatives à ce qu'il sait ou croit savoir.

### 3.1.1.1.2.

#### Discussion du concept

La catégorisation définit les concepts, les catégories, et leurs relations. Dans le cadre de la conception d'un système expert, la catégorisation trouve utilement à s'employer, car en effet la modélisation de l'expertise passe obligatoirement par la détermination des concepts et catégories de l'expert et leur traduction en un code informatique rigide. Mais en travaillant avec des catégories rigides et fixées une fois pour toutes, l'élaboration d'un système expert pose le problème des effets de la catégorisation sur la compréhension du domaine d'expertise. En d'autres termes, quel risque entraîne la simplification des catégories sur la capacité du système expert à reproduire une expertise comparable à celle de l'homme ?

*La restriction prototypique engendre un risque d'invalidité des systèmes à base de connaissances.*

La catégorisation des connaissances revient en somme à définir les objets et leurs propriétés, puis à figer une de leurs significations dans un contexte donné. La modélisation de l'expertise procède donc par restriction prototypique des connaissances. Et cette restriction ne reproduit pas les deux aspects dynamiques de l'organisation des connaissances : d'une part la composition des catégories varie en fonction du contexte dans lequel elles sont activées, ce qui les rend instables ; d'autre part, la richesse d'une classification est précisément de pouvoir être reconstruite chaque fois que l'individu se trouve dans des contextes nouveaux. La catégorisation risque alors

d'accentuer la différenciation des concepts et la discrimination des catégories, et donc d'invalider la base de connaissances du système.

En résumé, la catégorisation est un processus cognitif organisant notre représentation du monde et notre mémoire. Elle permet donc le stockage de nos connaissances. Appliquée à la conception d'un système expert, la catégorisation devient un moyen de rassembler le contenu de la base de connaissances, tout en risquant d'induire une restriction prototypique des connaissances de l'expert.

### 3.1.1.2. L'activation des connaissances

Le deuxième problème soulevé par l'élaboration d'un système expert réside dans l'activation de sa mémoire, c'est-à-dire dans l'architecture de son moteur d'inférence. A ce propos, la théorie de la pertinence suggère quelques solutions.

#### 3.1.1.2.1. Présentation du concept

En raisonnant nous activons et manipulons nos connaissances. Dans le but de conceptualiser l'activation des connaissances, de nombreuses recherches ont associé le raisonnement et la logique formelle. Elles ont notamment essayé de mesurer le niveau de maîtrise des opérations logiques par des individus. Ces travaux, principalement d'inspiration piagétienne, ont considéré que le développement de l'intelligence suit des stades et qu'à l'adolescence, les 16 opérations de la logique propositionnelle sont maîtrisées. Cette conception du raisonnement conduit à penser qu'il existe une distinction entre son contenu et sa forme logique : quel que soit le contenu des éléments intervenant dans un raisonnement, on peut en déduire des valeurs de fausseté ou de vérité. L'intelligence artificielle s'est largement inspirée de cette approche du raisonnement (Fargues, 1986) qui délaisse la sémantique des actions effectuées par un individu lors de la résolution d'un problème, et se centre exclusivement sur les formes logiques du raisonnement.

*Pour résoudre un problème, les individus s'en construisent un modèle mental.*

En 1983, Johnson-Laird développe la notion de "modèle mental", offrant par là même une réponse au problème de la signification des éléments intervenant dans un raisonnement. Le modèle mental, théorie générale d'explication de la pensée, prévoit que la réalisation avec succès de tâches complexes est conditionnée par le fait d'avoir à la fois un modèle mental pertinent du monde, et d'avoir accès au bon modèle mental au bon moment. Lors de la résolution d'un problème, l'information intégrée et élaborée par l'individu lui permet

d'accéder à un modèle en construisant des inférences et des prédictions à partir du modèle réel. Ceci est considéré comme toujours vrai, même si le sujet n'a jamais eu accès aux informations pertinentes du problème qu'il a à résoudre. Les composants de base à partir desquels le modèle mental est construit sont appelés des représentations propositionnelles. Et la procédure générale de définition de leur signification est déterminée par :

- les connexions entre les différents éléments d'information attachés à la résolution du problème ;
- les cohérences partielles des représentations propositionnelles qui sont isolées lorsque la recherche d'une solution est entreprise par le sujet ;
- la complexité du réseau de relations construit par l'activation d'un modèle mental ;
- et la compatibilité entre les représentations propositionnelles et l'information disponible en mémoire.

La théorie des modèles mentaux désigne le processus de détermination de la signification par l'appellation de "sémantique procédurale". On peut voir les représentations propositionnelles comme constituant l'infrastructure du modèle, et la sémantique procédurale comme un principe organisant l'interaction du sujet avec son environnement (Manketlow et Jones, 1987). En fait, les exemples donnés par Johnson-Laird pour illustrer les modèles mentaux reposent largement sur des syllogismes classiques et délaissent quelque peu le contexte et l'objectif de réalisation de la tâche. Et comme le soulignait il y a très longtemps Leibniz (1703) : "On croit que le syllogisme est le grand instrument de la raison et le meilleur moyen de mettre cette faculté en usage. Pour moi j'en doute, car il ne sert qu'à voir la connexion des preuves dans un seul exemple et non au-delà : mais l'esprit la voit aussi facilement et peut-être mieux sans cela". De plus, cette théorie offre peu d'arguments quant au problème de la sélection des représentations propositionnelles parmi l'ensemble des propositions pouvant être inférées du contexte de la situation de résolution. Par contre, les travaux menés sur la pertinence fournissent un cadre de compréhension sur la manière dont les individus retiennent une proposition parmi l'ensemble de celles potentiellement disponibles.

***La pertinence est une règle d'activation et de manipulation des connaissances.***

Les recherches de Evans (1984) sur l'activation des raisonnements ont défini une stratégie cognitive systématique. Selon cet auteur, lors de la recherche d'une solution, le sujet n'envisage pas de dénombrer l'espace logique avec toutes les possibilités qui permettraient de déterminer logiquement le juste choix, mais il envisage les

possibilités en faisant confiance à ses intuitions de pertinence. C'est cette détermination des informations pertinentes qui donne le moyen à l'individu de déclencher des inférences. Ainsi, Evans propose une distinction entre les processus heuristiques et analytiques. Les processus heuristiques sont des processus qui permettent d'aller à très peu d'informations pertinentes ; les processus analytiques déclenchent les inférences. Autrement dit, lorsqu'un individu est placé dans une situation de résolution de problème, il définit d'abord les informations pertinentes puis recherche les inférences potentiellement déclenchables à partir de ces informations. Ce sont des considérations de pertinence, écrit Evans, qui déterminent les solutions. Néanmoins, si la notion de pertinence reste implicite chez cet auteur, il semble pourtant qu'elle puisse être explicitée davantage. Selon Sperber et Wilson (1986), la notion de pertinence est caractérisée par deux propriétés. La première est celle des effets cognitifs, c'est-à-dire qu'une information est pertinente si on peut en déduire un certain nombre de choses (propositions, faits...). La seconde est celle de l'effort cognitif, c'est-à-dire que pour être traitée, une information demande un certain effort. L'hypothèse principale défendue par ces auteurs consiste à considérer que les processus cognitifs humains sont entre autres choses gouvernés par la recherche constante de la pertinence maximale : avoir le plus grand effet possible pour le moins d'effort possible. Le principe de pertinence peut donc s'énoncer de la manière suivante (Jayez, 1986) : relativement à un contexte, une expression E sera plus pertinente qu'une expression E' si E a plus d'effets contextuels ; c'est-à-dire si E a plus d'effets pour moins d'effort. Ou encore, si E autorise plus d'inférences que E', alors E est plus pertinent que E'. Autrement dit, si je peux inférer plus de choses de E que de E', alors E est plus pertinent pour moi. Dans ce sens, le sujet ne prend pas la peine de faire tous les calculs possibles, il suppose que ce qui est saillant est juste. En général, c'est une heuristique plutôt qu'une algorithmie qui rend possible la recherche de l'information pertinente. De ce point de vue, le sujet travaille le plus souvent selon le principe de l'économie cognitive.

Pour Sperber et Wilson (1986), lorsque "le traitement d'informations nouvelles donne lieu à un tel effet de multiplication, nous disons que ces informations sont pertinentes. Plus l'effet multiplicateur est grand, plus grande est la pertinence". Cet effet multiplicateur est subordonné à des inférences qui consistent en un processus mental au cours duquel une hypothèse est admise pour vraie ou plausible, sur une base de départ formée d'une série d'autres hypothèses, dont la vérité était plus ou moins fortement admise. Pour Fodor (1986), la formation et la confirmation d'hypothèses sont

pour lui des processus inférentiels, propriétés du système central de la pensée, dont la fonction est le traitement des informations perçues. Reboul (1988) précise que ce système de traitement se présente selon les trois niveaux suivants.

- Un premier niveau dans lequel les perceptions sont traduites par des transducteurs afin que les données puissent être traitées par le cerveau.
- Un deuxième niveau où les systèmes périphériques produisent une première interprétation des données.
- Un troisième niveau où intervient le système central de la pensée qui va fournir une interprétation complète des données perçues, traduites puis interprétées partiellement par les systèmes périphériques.

Si l'on se rapporte à Sperber et Wilson (1986), les informations qui figurent au niveau du système central de la pensée ont trois aspects : des informations logiques, des informations encyclopédiques et des informations lexicales. Un concept possède ainsi trois points d'entrée, définis comme suit.

- L'entrée logique d'un concept énumère les règles déductives qui s'appliquent aux formes logiques dont ce concept est un élément. Les entrées logiques constituent donc des ensembles de règles déductives, ou encore des opérations formelles sur des formes logiques. Les formes logiques des hypothèses sont composées d'éléments dont la présence et l'agencement régissent l'application des règles déductives. Les auteurs appellent ces éléments des concepts.
- L'entrée encyclopédique rassemble les informations sur l'extension ou la dénotation du concept, c'est-à-dire sur les objets, les événements ou les propriétés qui tombent sous ce concept. En d'autres termes, les entrées encyclopédiques représentent des ensembles d'hypothèses, c'est-à-dire des représentations ayant une forme logique.
- L'entrée lexicale contient les informations sur l'expression linguistique du concept, c'est-à-dire sur le mot ou le syntagme qui exprime le concept dans la langue. Autrement dit, les entrées lexicales sont des représentations ayant une forme linguistique.

Ces modèles à niveaux permettent donc de saisir les processus cognitifs par le truchement de leurs composantes.

### 3.1.1.2.2. Discussion du concept

L'activation des connaissances ne peut être réduite à la simple manipulation de concepts par des formes logiques. En effet, les modèles cognitifs proposés par Reboul (1988) et Sperber et Wilson (1986) laissent croire qu'il existe plusieurs accès aux connaissances. Les connaissances énoncées par les individus ne sont pas prises pour leur seul contenu syntaxico-sémantique, mais ce dernier n'est que l'expression symbolique d'éléments cognitifs qui relèvent aussi d'un ordre subsymbolique (en deçà du symbole et de la représentation). Pour notre part, nous montrerons que l'élaboration d'un modèle d'expertise passe par la compréhension des éléments symboliques relatifs au domaine de l'expertise et à l'expert, et d'éléments subsymboliques qui traitent les informations utilisées dans le contrôle et la régulation de la prise de décision. Aussi, la modélisation peut s'appuyer sur les quatre principes suivants :

- (a) la détermination des **formes logiques** manipulées dans le langage par l'expert, qu'elles soient directement énoncées par des connecteurs logiques ou identifiables dans les propositions explicites ;
- (b) la compréhension du **contenu sémantique** des concepts employés ;
- (c) la définition du **contenu syntaxique** des concepts ayant un effet démultiplicateur sur la pertinence des inférences déclenchées. Cet effet semble déterminé par des conditions syntaxiques qui autorisent et/ou interdisent des enchaînements de concepts. Ainsi, des contraintes d'enchaînement ouvrent ou ferment des hypothèses proactivement et/ou rétroactivement par rapport à celles déjà énoncées.
- (d) enfin, nous désignerons l'assemblage de ces trois composants, - forme logique, contenu sémantique et contenu syntaxique- par le terme d'**opérateur cognitif**. Il sert à déterminer des **schémas** guidant les inférences allant des prémisses vers une décision. Les schémas se réfèrent donc à une intégration logique des concepts engagés dans une prise de décision.

Elaborer un modèle d'expertise à partir d'un système d'énoncés revient à substituer, à chacun ou à quelques uns des termes employés par l'expert, d'autres termes désignés par des symboles abstraits, la détermination de ces symboles abstraits s'exprimant selon les quatre principes cités ci-dessus. On peut donc dire que les raisonnements sont des objets psychologiques envisagés à un niveau d'abstraction faisant intervenir des considérations sur la forme logique, la syntaxe et la sémantique des propositions énoncées.

En somme, déterminer les processus d'activation des connaissances de l'expert revient à définir les inférences qui sont autorisées à partir des informations disponibles, pour faire ensuite émerger un modèle formel de l'expertise qui soit compatible avec le modèle naturel.

### 3.1.1.3. La compatibilité cognitive

Le troisième problème que pose l'élaboration d'un système expert est la qualité de sa modélisation, c'est-à-dire de l'architecture de sa base de connaissances. Il nous semble que le modèle d'expertise doit être psychologiquement pertinent pour les utilisateurs. A cet égard, la compatibilité cognitive fait figure de concept d'évaluation de l'écart entre le modèle naturel et le modèle artificiel.

#### 3.1.1.3.1. Présentation du concept

*La compatibilité mesure l'écart entre le fonctionnement de la machine et le fonctionnement interne de l'utilisateur.*

Les travaux menés dans le domaine de l'ergonomie des logiciels donnent un éclairage particulier sur le problème de la structuration des bases de connaissances. Ils ont montré que la maîtrise, la facilité d'utilisation et la compréhension de systèmes informatiques sont grandement améliorés lorsque les applications sont compatibles avec les caractéristiques du travail des opérateurs et avec leurs modes de raisonnement. Pour Streitz (1987), l'ergonomie de conception dépend en première instance de la compatibilité cognitive entre les deux entités du couple utilisateur-logiciel. En partant des enseignements de cet auteur, on peut conceptualiser la notion de compatibilité entre la structuration de la base de connaissance et le fonctionnement interne de l'expert, de la façon suivante :

- soit  $S(c)$  le traitement par le système expert d'une connaissance  $c$  (concept ou raisonnement) ;
- soit  $E(c)$  le modèle mental propre à l'expert de la connaissance  $c$  ;
- soit  $E(S(c))$  la représentation cognitive qu'a l'expert des traitements associables à la connaissance  $c$  dans le système expert.

Plus un système sera dit compatible, moins la notion de désaccord entre les modèles de connaissances en jeu sera marquée. Autrement dit, moins il y aura de divergence entre  $S(c)$ ,  $E(c)$  et  $E(S(c))$ , et plus le système sera orienté expert. La thèse de Streitz débouche sur la conséquence suivante : la meilleure compatibilité possible entre un utilisateur et un logiciel passe par la recherche de la meilleure compatibilité possible entre le modèle mental du concepteur  $C(c)$  et celui de l'expert  $E(c)$ .

### 3.1.1.3.2. Discussion du concept

La compatibilité cognitive offre une métrique d'évaluation de l'acceptabilité de la modélisation de la cognition par rapport à la cognition réelle. En ce sens, elle représente un critère de validation de la modélisation.

La compatibilité entre les connaissances de l'expert et la structuration de la base de connaissances est nécessaire. Deux raisons semblent légitimer ce fait. Premièrement, la tendance à croire que le but d'un système expert est de conclure sur les mêmes résultats que l'expert humain, et ce quelles que soient les connaissances du système, laisse présupposer que l'important c'est le résultat, et non le cheminement qui conduit au résultat. Or, les systèmes experts ont bien souvent un rôle maïeutique. Ils doivent être capables de justifier leurs raisonnements, et donc de mimer au mieux le cheminement d'un expert humain. Deuxièmement, l'introduction d'une technologie nouvelle apparaît toujours comme une situation d'acquisition mentale et d'apprentissage de processus. Dans cette perspective, de nombreux travaux ont montré que les stratégies opératoires nouvelles développées par les individus au cours de la mise en place d'un système informatique, reposent sur des représentations que les individus ont du dispositif (De Montmollin, 1984 ; Leplat, 1985). Pour qu'un système soit facile à utiliser, il importe que sa conception tienne compte de la manière dont les individus l'utiliseront. Dans ce sens, il doit être compatible avec leur fonctionnement interne, qu'ils soient experts ou novices.

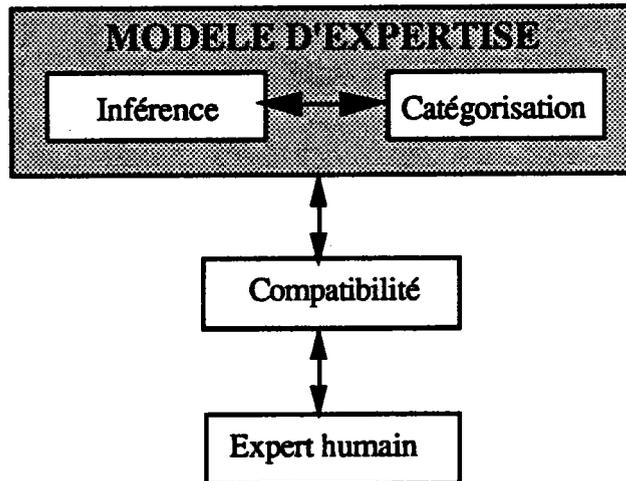
## 3.1.2. Hypothèses

Ces trois principes -la restriction et la catégorisation des connaissances, la définition de la pertinence des connaissances et leurs possibilités d'inférences, et la compatibilité- apparaissent comme des bases théoriques qui semblent guider l'élaboration d'un modèle d'expertise (figure 8).

Ils fournissent un modèle de la cognition en tant que circuit programmable. Le circuit est organisé par une mémoire sémantique qui ordonne les concepts et catégories de concepts. La prise de décision se ramène à l'activation du circuit. La règle d'activation du circuit repose sur la pertinence, cette dernière visant au déclenchement des inférences autorisables dans le circuit à partir de la détermination des formes logiques, syntaxiques et sémantiques que peuvent prendre les connaissances se trouvant aux différents points du cir-

cuit. De ce point de vue, la pertinence est une règle de parcours de l'organisation des connaissances.

Figure 8. Schéma des principes généraux d'élaboration d'un modèle d'expertise.



Les aspects présentés ci-dessus, nous permettent de dégager les trois hypothèses suivantes.

**Hypothèse 1.** L'expertise n'est pas réductible à des formes logiques manipulant des concepts, comme le figurent les règles de production. En d'autres termes, les énoncés de l'expert ne correspondent pas systématiquement et/ou ne sont pas systématiquement formalisables sous la forme de conditions et de conclusions reliées par les conjonctions "si" et "alors". Les concepts employés par l'expert n'ont pas uniquement une valeur nominale. Dans cet ordre d'idées, nous considérons que les énoncés sont des macro-descriptions d'éléments cognitifs, parmi lesquels résident des contenus sémantiques, syntaxiques et aussi une forme logique. Ces trois composants se structurent sous la forme d'opérateurs cognitifs qui représentent une intégration de ces différents niveaux de connaissances.

**Hypothèse 2.** Les opérateurs cognitifs, vus comme un conglomérat de pointeurs sémantiques, logiques et syntaxiques attachés à des connaissances, se structurent à leur tour sous forme de schémas d'inférences. Ces derniers représentent une configuration de connaissances, qui, mise en œuvre à travers un fonctionnement heuristique et/ou analytique, construit un mode de consonance et de rapport à la réalité, en permettant l'élaboration d'une décision adaptée au problème posé. Dans ces schémas, la recherche de la pertinence est une stratégie

**cognitive systématique.** Elle représente un mécanisme d'inférence, auquel nous trouverons une formalisation automatisable.

**Hypothèse 3.**

La caractérisation fonctionnelle de l'expertise humaine est partiellement réalisable. Par conséquent, nous montrerons que le système expert aboutit à des décisions en partie équivalentes à celles de l'expert humain. C'est l'hypothèse de **compatibilité du modèle artificiel avec le modèle naturel.** Autrement dit, pour que la modélisation de la cognition soit acceptable, une compatibilité cognitive doit s'opérer aux niveaux des concepts et des raisonnements manipulés par les systèmes cognitifs, qu'ils soient artificiels ou naturels.

En quelque sorte, nos hypothèses portent sur le fait que la connaissance peut se modéliser sous la forme de schémas d'inférence dans lesquels résident des concepts et des opérateurs. Ces opérateurs cognitifs déterminent des conditions de représentation du problème et de sa résolution. L'activation des schémas est effectuée par la recherche des connaissances les plus pertinentes. Enfin, nous chercherons à mesurer la compatibilité entre les modèles naturels et artificiels.

Ces hypothèses étant posées, définissons notre terrain d'étude ainsi que notre cadre méthodologique.

---

## **3.2. TERRAIN ET OBJET DE RECHERCHE**

---

Notre démarche porte sur une situation réelle et complexe. Elle comprend à la fois un objectif de recherche appliquée -l'élaboration d'un système expert dans une organisation-, et un objectif plus fondamental qui est celui de la modélisation de l'expertise.

A présent, il convient de présenter les caractéristiques du service au moment où le projet de système expert a fait son apparition.

## 3.2.1. La situation de l'entreprise

### 3.2.1.1. Eléments généraux

*L'entreprise concernée évolue dans le secteur des activités tertiaires.*

L'entreprise, spécialisée dans le domaine de l'assurance, emploie plus de 1600 personnes. Economiquement saine, largement bénéficiaire, elle a changé de statut en 1987, quittant le secteur strictement public pour devenir un établissement public à caractère industriel et commercial. En fait, cette restructuration juridique et économique, qui a suscité quelques mécontentements, n'a pas eu d'incidences directes sur les habitudes et les caractéristiques du travail des employés concernés par la mise en place du système expert.

Le personnel, de formation initiale variée, est très diversifié : assureurs, gestionnaires, financiers, commerciaux, fiscalistes, médecins, informaticiens, actuaires, comptables... Le recrutement est en partie réalisé sur concours. Plusieurs modèles d'organisation du travail, plus ou moins explicites, sont appliqués : taylorien et bureaucratique, complétés de quelques expérimentations socio-techniques (participation, expression des salariés).

La décision d'implantation du système expert s'inscrit dans une politique de changement affichée et mise en œuvre par la direction. Elle veut engager l'entreprise dans la voie de la débureaucratization, en accompagnant l'introduction des nouveaux outils par des mesures visant au développement d'un projet d'entreprise (plans d'amélioration de la qualité, cercles d'initiatives et de progrès).

*La culture informatique y est ancienne.*

Depuis de plus de 25 ans, cette société a fait développer des applications informatiques dans les domaines de la finance, de la gestion et bien évidemment des assurances, sur micro-ordinateurs, mini-ordinateurs et ordinateurs. Tous les types d'informatique y sont quasiment représentés : micro-ordinateurs personnels, réseaux et sites informatiques centralisés. L'informatique y est donc diversifiée et ancienne. Le projet de système expert, destiné à un service de gestion des assurances individuelles, a vu le jour début 1987 et s'est achevé fin 1989.

### 3.2.1.2. **Caractéristiques de l'organisation du travail et des personnes concernées par l'introduction du système expert.**

Pour saisir les spécificités de la conception du système expert, il est nécessaire de présenter les caractéristiques du travail et de recenser l'ensemble des paramètres qui vont être pris dans cette mouvance.

*L'organisation du travail est liée à une organisation de la décision.*

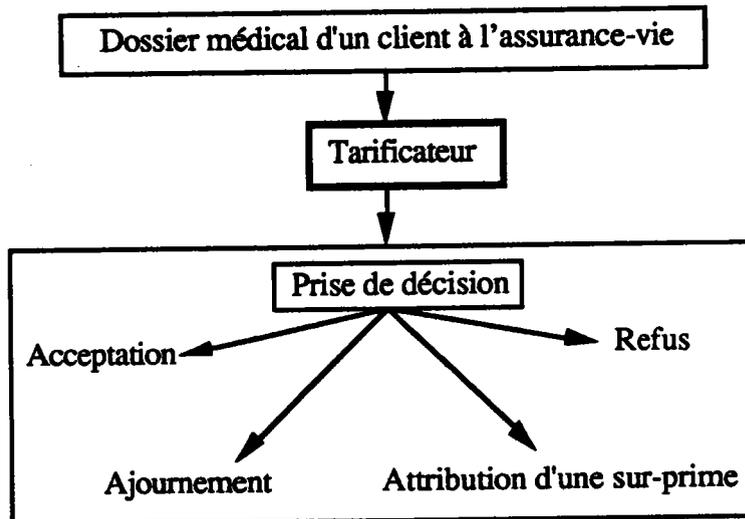
En juin 1987, date à laquelle le projet de système expert est lancé, les tâches du service chargé d'établir les assurances-vie étaient divisées en trois niveaux, correspondant à trois niveaux de qualification. Les employés du premier niveau recevaient les questionnaires de santé (soit 450000 par an) des clients aux assurances puis opéraient un premier filtrage vers le niveau suivant. Il était possible pour les agents du deuxième niveau de demander aux clients des examens médicaux supplémentaires (propositions de 25000 bilans de santé par an). Les résultats de ces derniers étaient analysés par les tarificateurs. Si les agents des niveaux 1 et 2 pouvaient définitivement statuer sur le refus ou l'acceptation d'un dossier, ils ne pouvaient en aucun cas donner des conditions spéciales d'admission liées au pronostic vital. C'est au troisième niveau uniquement que les tarificateurs traitaient les dossiers pouvant présenter des risques aggravés. Seuls ces derniers étaient en mesure de proposer une sur-prime correspondant au risque de sur-mortalité du client.

Ainsi, l'évaluation d'un dossier médical, ou tarification, débouche sur cinq types possibles de décision (figure 9), que le système expert doit pouvoir reproduire :

- (a) Conditions normales : le client ne présente aucun risque clinique pouvant engendrer une modification de son espérance de vie.
- (b) Risque aggravé : le client a ou a eu un certain nombre de troubles cliniques qui induisent une diminution de son espérance de vie. Le risque représente alors un pourcentage de sur-prime à payer allant de 0% à 450%.
- (c) Ajournement : le client comporte des risques importants, et a contracté une maladie dont les séquelles sont difficilement appréciables, compte tenu du faible recul par rapport à la survenue de la maladie. La décision d'ajournement peut être assortie soit d'un délai (par exemple ajourné à 6 mois ou 1 an), soit d'une condition (par exemple dans le cas d'un rétrécissement mitral, le dossier est ajourné jusqu'à une intervention de remplacement valvulaire). Globalement, une décision d'ajournement est prise lorsque le risque encouru par le client ne peut

être tarifé à la date de réception du dossier. Mais après un certain laps de temps, son dossier pourra être réexaminé.

Figure 9. Le traitement des dossiers par les tarificateurs.



- (d) Refus : le risque du client est déclaré inassurable.
- (e) Ne pas tarifer (non-tarification) : le tarificateur ne dispose pas d'informations suffisantes pour tarifer le dossier. Dans ce cas, il demande des examens ou visites médicales supplémentaires afin de compléter les connaissances qu'il a sur le client. Il peut éventuellement en référer à un expert.

*La spécialisation des tâches de tarification est importante.*

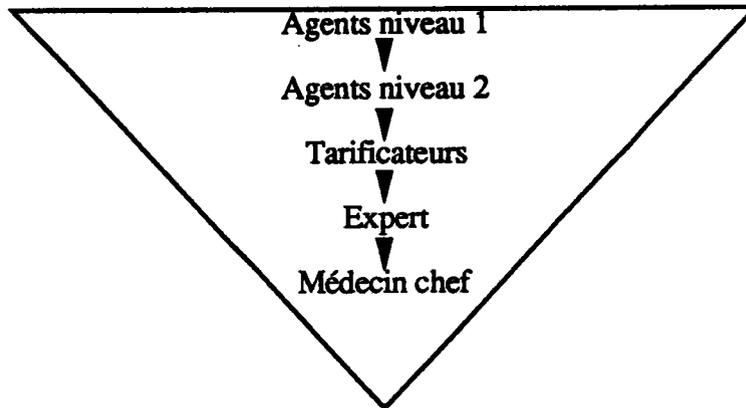
La tarification était donc organisée selon le principe du "goulot d'étranglement", c'est-à-dire que plus un dossier était délicat, plus il était traité par des agents ayant des compétences pointues en tarification. En bref, la spécialisation des tâches était poussée : certains recevaient les dossiers médicaux, d'autres les préparaient, d'autres encore les traitaient et d'autres enfin énonçaient les règles de tarification (figure 10). Notons enfin que le turn-over de ce service était faible. La mobilité n'est pas possible compte tenu de la rigidité de l'organisation interne du service.

La hiérarchisation fonctionnelle de ce service correspond à une division du travail qui repose sur quelques principes de base :

- (a) les capacités cognitives limitées, pour employer le terme de Simon (1983), des individus induit une division du travail ;
- (b) un employé d'un niveau supérieur exerce un pouvoir de compétence, sinon d'autorité, sur les employés des niveaux inférieurs ;

- (c) les capacités de production de l'organisation dépendent de l'ensemble des décisions prises aux différents niveaux. De fait, il y a une coordination entre les différents niveaux qui implique des échanges d'informations.

Figure 10. Schéma de l'organisation fonctionnelle de la tarification en juin 1987.



- (d) une spécialisation hiérarchique du processus de prise de décision : plus le niveau hiérarchique de prise de décision est inférieur, plus le dossier médical à traiter est structuré, simple, à risque limité et répétitif. Par contre, les niveaux supérieurs (tarificateurs et experts) abordent le traitement de dossiers complexes, à risque élevé, mal structurés et souvent originaux. La spécialisation hiérarchique de la décision semble avoir deux fonctions ; d'une part faire face à des dossiers médicaux complexes, et d'autre part traiter rapidement les dossiers estimés simples.

En accord avec Reix (1990), on peut dire que cette organisation apparaît comme :

- "un organe de décision" : le service est un agencement de niveaux de décision, décisions allant du simple au complexe ;
- "une machine à traiter l'information" : les différents niveaux de décision collectent, stockent, traitent et transforment des informations ;
- "un réseau de communication" : les différents agents créent, reçoivent et envoient des messages vers leurs clients ou leurs collègues, grâce à différents médias.

Sous cet angle, l'introduction du système expert s'insère dans les systèmes de décision et de communication du service d'utilisateurs. En effet, le système expert affecte l'organisation d'un service, dans

le sens où il va exercer une influence à la fois sur les processus de prise de décision, et sur les capacités de traitement et de transformation des informations collectées par le service. Il constitue par là un média s'insérant dans les circuits de communication et de connaissance du service. Son intégration socio-organisationnelle a été abordé ailleurs (Brangier et Prez, 1988 ; Fischer et Brangier, 1990).

Remarquons enfin que la catégorie de personnel directement concernée par l'implantation du système expert comprend en premier lieu les cinq agents chargés de tarifer les dossiers médicaux des clients et les experts. En second lieu, c'est l'ensemble du service qui est concerné, soit 23 personnes.

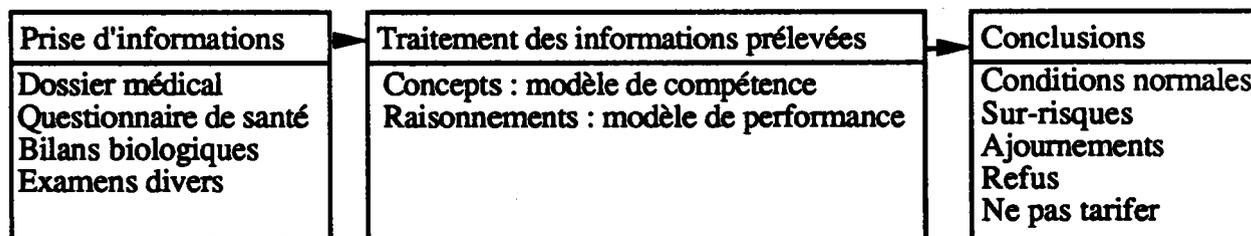
## 3.2.2. Présentation de la situation d'expertise étudiée

Pour saisir les spécificités du recueil d'expertise, il est nécessaire d'esquisser les caractéristiques de l'expertise dans cette organisation afin de préciser ensuite notre démarche méthodologique.

### 3.2.2.1. Caractéristiques générales de l'expertise

Comme dans toutes les activités d'expertise, la prise de décision en tarification médicale repose sur trois entités : la prise d'informations dans le champ perceptif, le traitement de ces informations en fonction de ressources cognitives, et la conclusion de la décision traduite sous une forme verbale (figure 11).

Figure 11. Schéma du processus de prise de décision.



Bien évidemment, la prise d'informations est sélective. Elle ne s'intéresse qu'aux informations pouvant entraîner une décision de risque aggravé. En d'autres termes, si les informations non pathologiques sont lues par les agents tarificateurs, elles ne les intéressent

pas directement. Tout se passe comme si la prise d'informations consistait à détecter dans un dossier les "éléments qui sont dans le rouge", pour citer l'un d'entre eux. Soulignons également que les informations sont toujours tenues pour vraies, c'est-à-dire que jamais les informations rédigées par les médecins ou les laboratoires ne sont remises en cause. Pour reprendre les termes de Sperber et Wilson (1986), les tarificateurs ont systématiquement une forte présomption de pertinence de ce qu'ils lisent dans les dossiers médicaux.

La tarification procède par recherche combinée des facteurs qui vont aggraver l'état de santé d'un client et ceux qui vont atténuer cette gravité, comme en témoigne la tarification par un expert "E" d'un antécédent de cancer du rein (la méthodologie de détermination des connaissances sera présentée plus avant).

*E Par sa maladie on lui prévoit un taux de mortalité qui est le complément de la survie à 84%, donc ça fait si je ne me trompe pas 16% de taux de mortalité. Or les taux de mortalité annuelle ne sont pas, ne sont pas, ne sont pas euh, ne dépassent pas à peu près 1%. Donc le fait sur 5 ans de passer d'un taux de mortalité donc à peu près à 1% à un taux de mortalité de 16%, ça lui fait augmenter son risque de mortalité de 16 fois. Donc ça lui fait si on a multiplier son taux de mortalité de 16 fois, il lui a fallu ajouter 16 fois, donc il a fallu lui ajouter euh, plus de 1500%, voilà. C'est le prix d'un cancer du rein.*

*I 1500%, donc c'est refusé.*

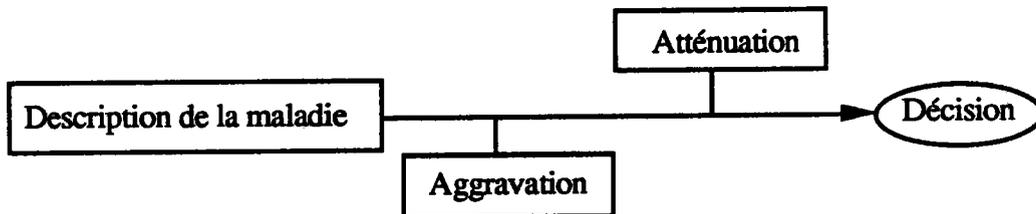
*E C'est sûr que... bon alors il faut regarder ça c'est le risque théorique, et on reconsidère ça, très souvent on les fait fondre ces risques. Ça c'est effectivement le taux qui est mis dans le dans le, dans la littérature. Ces pourcentages de survie à 5 ans s'améliorent d'année en année, de part l'efficacité de certains traitements. Pour certaines maladies malheureusement, le taux reste fixe, quoi qu'on fasse, ça ne bouge pas. Là pour le cancer du rein, on le reconsidère, le 84% que j'avais trouvé, il est relativement ancien puisqu'il datait de 81-82, donc maintenant il est un petit peu meilleur, mais il n'en demeure pas moins que ce sont des taux importants (...). De toute façon ça n'a qu'une valeur statistique, sur l'individu, c'est un peu différent.*

**Tarifer c'est d'abord définir ce qui aggrave et atténue un état de santé.**

Tarifer un dossier revient en fait à distinguer les données aggravant l'état de santé des facteurs d'amélioration de cet état. Dans l'exemple du cancer du rein, la gravité de la maladie est un facteur très important ; elle peut néanmoins "fondre" en fonction de traitements

et thérapeutiques qui sauront prolonger l'espérance de vie du client. Quel que soit le dossier médical, la tarification implique toujours le dosage entre les éléments d'aggravation et d'atténuation d'une ou de plusieurs données cliniques (figure 12).

Figure 12. Schéma global de la prise de décision réalisé par l'expert.



A travers ce processus de dosage de la gravité d'un dossier, l'expert construit et/ou utilise des heuristiques mettant en relation les données de sa tâche et de son savoir-faire.

*L'expertise est centrée sur des activités de diagnostic et surtout de pronostic.*

Différentes caractéristiques du travail permettent de classer ce type d'expertise dans les activités de diagnostic et de pronostic de l'évolution médicale d'un client. En effet, les experts sont amenés à apprécier la santé d'un client à partir de la lecture d'un dossier médical. Ce dernier est constitué d'une part par un médecin ayant ausculté le client, et d'autre part par un laboratoire d'analyses médicales où le client a effectué plusieurs bilans (sanguin, urinaire, électrocardiogramme, radiographies...). La prise de décision repose donc sur la lecture et la compréhension des données déclarées dans le dossier médical. Voici les différents critères permettant de classer cette expertise dans les activités de pronostic.

- (a) Les agents ne cherchent pas à diagnostiquer les maladies potentielles des clients. Ce travail est réalisé par les médecins conseils qui ont ausculté et dressé l'état de santé des candidats aux assurances. Ce travail peut également avoir été fait par les laboratoires d'analyses médicales qui fournissent des renseignements biologiques. Par contre, les tarificateurs font des hypothèses sur l'évolution du système biologique, donc un pronostic de l'espérance de vie du client, qu'ils chiffrent ensuite en risque médical. En ce sens, la décision consiste en un pari sur l'avenir d'un client.
- (b) La vérification des hypothèses que les tarificateurs posent n'est pas possible, ce sont des suspicions de risques potentiels qui guident leur activité de pronostic. En effet, ils ne peuvent juger de la qualité de leur prise de décision qu'a posteriori, c'est-à-dire suite au décès du client. Leurs activités sont donc principa-

lement interprétatives et conduites par la recherche des risques, des incidences d'une maladie sur l'espérance de vie, et des tentatives, plus ou moins dissimulées, de fraude à l'assurance-vie. Le risque médical qu'ils définissent repose sur une part d'incertitude. Cette incertitude est d'autant plus grande que les progrès de la médecine peuvent remettre en cause le pronostic et qu'une donnée médicale n'a pas forcément la même signification au cours du développement d'une maladie. Par exemple, lorsqu'un diagnostic médical est suivi d'une décision d'intervention chirurgicale, l'acte thérapeutique vient modifier l'état de santé du patient et donc son espérance de vie.

- (c) Le pronostic se construit à partir d'une situation de communication écrite s'instaurant entre un dossier médical rédigé par un médecin conseil qui a visité le candidat à l'assurance et un lecteur, appelé tarificateur, chargé de comprendre la signification des données médicales dans le contexte de l'assurance-vie. Pour ce faire, le tarificateur construit un contexte de compréhension du dossier, à partir des énonciations du médecin.
- (d) Bien qu'il y ait une certaine constance dans les raisonnements, le traitement des dossiers n'est pas effectué selon une méthode préétablie et figée, mais il est recomposé en fonction des caractéristiques quasi-unique de chacun des dossiers.
- (e) En marge de l'activité de pronostic se trouve également une activité de diagnostic, dont le poids dans la prise de décision est relativement faible, comme nous le verrons plus avant.

Bien entendu le traitement des dossiers médicaux repose sur des tables de mortalité, des données médicales sur le client, la politique commerciale de l'entreprise et enfin le savoir-faire acquis. Ainsi, les problèmes à résoudre se traitent par des raisonnements sur des connaissances provenant de divers domaines de la médecine et de l'assurance. Les données à traiter sont symboliques et les connaissances à mobiliser qualitatives. Elles font plus appel à l'expérience qu'à un savoir académique.

### 3.2.2.2. Objectifs du système expert pour l'entreprise

*Le système expert vise à aider les agents dans leur travail. Il constitue aussi une vitrine technologique de l'entreprise.*

La décision initiale de concevoir un système expert a été argumentée tout d'abord par une volonté de faire une expérience dans le domaine de l'intelligence artificielle, en cherchant à assister les agents dans leur prise de décision. Ensuite, elle a été motivée par la volonté d'homogénéiser le traitement des dossiers médicaux, puis encore de réduire les coûts de formation des tarificateurs en leur fournissant un outil capable de les assister dans leur travail. La durée de la for-

mation d'un tarifificateur est, en effet, estimée à trois années. Enfin, le système expert a pris dans l'entreprise une dimension médiatique : la maquette du système expert a été exposée dans diverses manifestations. Plusieurs articles de presse lui ont été consacrés, et elle a été présentée à la radio, puis à la télévision. A ce propos, nous pouvons souligner deux points. Premièrement, les objectifs des partenaires se sont quasiment construits avec la réalisation du système expert. Secondement, le système expert a été mis en scène par l'entreprise, et dans le même temps l'entreprise s'est mise en scène grâce à AndroMED. Par cette réflexivité, AndroMED est devenu un miroir dans lequel l'entreprise se regarde. Une entreprise c'est du savoir-faire : sans savoir-faire, pas d'entreprise. En envisageant l'implantation d'un système expert en assurance-vie, l'entreprise formalise son savoir-faire existant.

Le système expert n'a pas pour but de fournir une décision de tarification complète, c'est-à-dire tenant compte des types de contrats d'assurance, du capital engagé par le client, de la politique commerciale et de la concurrence, mais simplement (et c'est déjà un travail énorme) une décision quant au risque médical.

---

### 3.3. DEMARCHE METHODOLOGIQUE : LE RECUEIL D'EXPERTISE ET SON TRAITEMENT

---

*Le principal problème concerne l'indétermination méthodologique d'une science en construction.*

La conception d'un système expert renvoie non seulement aux données de la psychologie, mais également à celles de l'informatique, de l'ergonomie et de la linguistique. La combinaison de ces disciplines au sein des sciences cognitives ne fournissant pas encore de cadre méthodologique validé, nous nous trouvons en face de la structuration d'un champ nouveau, saisie par une dynamique qui questionne les outils méthodologiques de chacune de ces disciplines. En tenant compte de cette indétermination, notre principal souci méthodologique est d'étendre à la conception des systèmes experts le rationalisme scientifique en montrant qu'elle est réductible à des rapports de cause à effet, et qu'une opération faiblement rationnelle, comme l'est a priori un exercice de créativité tel qu'une activité de décision, peut être formalisée selon des processus qui abordent dans leur interdépendance les choix cognitifs (pertinence de la représentation des connaissances) et techniques (contraintes d'implémentation). Ces

choix fixent des orientations méthodologiques qui apparaissent lors de :

- la détermination des connaissances ;
  - l'élaboration d'un modèle d'expertise ;
  - la validation du système expert ;
- du processus de conception que nous analysons.

Avant de présenter la méthodologie utilisée à chacune de ces phases, soulignons que sept personnes ont participé au recueil d'expertise : un informaticien, un psychologue, deux tarificateurs, un agent ayant une très grande expérience de la médecine et de l'assurance, et surtout un médecin. De plus, à des fins de validation, le médecin-chef et expert national a été consulté trois fois. Ces utilisateurs ont formé le groupe expert désigné ci-dessous par "l'expert". De cette façon, les problèmes liés à une situation multi-experts n'ont pas lieu d'être abordés ici.

### 3.3.1. La détermination des connaissances

*La verbalisation de l'expertise est un véritable goulot d'étranglement de la conception.*

Pour cerner les principaux phénomènes en œuvre dans la situation de recueil d'expertise, les entretiens non directifs et semi-directifs auprès des futurs utilisateurs ont constitué la principale source d'informations, mais aussi de difficultés. Une d'entre elles a été de trouver des méthodes qui permettraient d'avoir accès à l'expertise. En effet, comme le soulignait Shortliffe (1976) en réalisant Mycin : "la formulation de nouvelles règles de décision n'est pas une chose directement accessible. Les médecins n'ont, en général, pas structuré leur processus de décision et l'expert peut avoir de grandes difficultés à décrire les étapes de raisonnement qu'il utilise pour prendre des décisions". Ainsi, les premières réponses des experts furent banales et inexploitable, et seul un long travail de réflexion a permis de dévoiler la part inconsciente et automatisée de leur démarche. Par exemple, à propos de la tarification d'un dossier où l'expert concluait à une sur-prime de 75% :

*I Et les 75% ( de sur-risque) vous les déterminez comment ?*

*E Ah ben comme ça, par l'habitude, mais enfin bon je dis ça, mais il faudrait pas que je dise ça... je pourrais pas vraiment dire pourquoi euh, mais euh, le dire vraiment, logiquement pourquoi, c'est vrai qu'c'est pas...*

La méthodologie de collecte des connaissances s'appuie essentiellement sur l'entretien de face à face, tel qu'il est étayé dans le chapitre 2. Axé d'abord autour d'un ensemble restreint de pathologies, les maladies cardio-vasculaires, le recueil fut ensuite étendu à l'ensemble des maladies. Nous avons cherché à savoir comment les experts utilisent leurs connaissances. Plus précisément, nous nous sommes efforcés d'explicitier :

- quelles sont les données dont les experts ont besoin pour tarifer un dossier ?
- qu'est-ce qui aggrave un dossier médical, et selon quelles lois s'aggrave-t-il ?
- comment s'effectue la recherche des éléments de gravité ?
- comment les données médicales prélevées dans les dossiers sont-elles traitées et projetées dans un avenir à très longue échéance ?

*L'entretien est utilisé pour collecter l'expertise.*

Afin d'explorer et de valider les cheminements de pensée des experts et utilisateurs, tous les entretiens décrits dans le chapitre 2 ont été utilisés. Le recueil a duré près de six mois à raison de deux à trois réunions par semaine, d'une durée d'une heure et demi chacune. Dans certains cas, les entretiens ont été enregistrés au magnétophone et transcrits. Dans d'autres, il n'y eut qu'une prise de notes.

Le recueil d'expertise se construisant dans les interlocutions experts-cogniticiens, la formalisation de l'expertise prend alors ses racines dans les conversations. Par conséquent, une méthodologie adaptée pour l'étudier est l'analyse de contenu (Ghiglione et al, 1980). Une partie du corpus a été analysée selon cette technique. Ces analyses, complétées par celles des dossiers médicaux et celles du travail des agents, ont cherché à dégager et à modéliser les aspects cognitifs de l'expertise. De plus, soulignons que le recueil d'expertise s'apparente parfois à une situation d'analyse de contenu thématique : par exemple le tri conceptuel correspond à une classification des concepts de l'expert où il est prié de ranger ses concepts dans des catégories qu'il a préalablement décrites. Ainsi dans une certaine mesure, il se trouve que l'objet des entretiens de classification des connaissances, peut se confondre avec la façon d'interpréter cette classification.

Pour la clarté de l'exposé, nous présenterons successivement le recueil des concepts et ensuite le recueil des raisonnements. En fait, ce ne sont pas deux phases différentes du recueil, mais deux composantes de la manière d'utiliser les connaissances, tant du point de vue de leur catégorisation que de leur activation.

### 3.3.1.1. La détermination des concepts

Les premiers entretiens, de type exploratoire, ont cherché à comprendre globalement les caractéristiques du travail, et à préciser les différents facteurs intervenant dans le processus de la prise de décision. De cette manière, trois types de savoir-faire ont été identifiés.

- (a) Le savoir-faire commercial qui permet l'ajustement de la décision à la politique commerciale de l'entreprise par rapport à la concurrence d'une part, et à la fidélité du client (c'est-à-dire au nombre de contrats souscrits, et au capital investi) d'autre part.

*"Il est bien évident que un client, qui va faire une "A" (nom du produit d'assurance) qui est une assurance de capitalisation, donc qui en fin de compte, n'a pas un gros risque décès, si y nous fait une commission unique qui couvre heu, je sais pas, s'il veut couvrir 10000 francs, qu'il nous verse une commission unique (commission unique) de 9800, si je dois lui mettre 30% de sur-risque parce que euh, je sais pas il a un petit peu de cholestérol, en réalité la sur-prime va se traduire par 1 ou 2% de prime, ça vaut pas le coup de perdre un client pour lui faire payer, je sais pas, 50 francs de plus. Alors qu'il a déjà versé une prime unique, donc on est sûr d'avoir au moins ça, donc là on l'appliquera pas. Donc c'est pour ça qu'on regarde quand même les capitaux et le type de contrat."*

- (b) Le savoir-faire assurantiel qui permet l'ajustement des tarifications aux types de contrats souscrits. En effet, tous ces contrats ne considèrent pas le risque décès ou invalidité de la même manière.

*"Jusqu'à présent on a toujours pris des décisions quand même en rapport avec le contrat."*

- (c) Le savoir-faire médical, le plus important, détermine à proprement parler le risque médical.

De A, Acné à Z, Zona, le vocabulaire médical est riche. Aussi, les entretiens suivants d'inventaire des connaissances, basés sur le tri conceptuel et sur l'étude des relations de subordination et de superordination conceptuelles, se sont focalisés sur le savoir-faire médical. Par une démarche descendante allant de la description des

grands thèmes de la médecine à la présentation d'aspects particuliers, l'expert a été prié de définir :

- les divers types d'affections (treize au total) ;
- les maladies relatives à chacune des affections ;
- les résultats d'examens cliniques, électriques, radiologiques et biologiques qui peuvent être demandés ;
- les traitements médicaux et actes thérapeutiques pouvant être associés aux maladies.

Ceci a servi à dresser une liste des données médicales.

### *La détermination des affections et des données cliniques*

Les affections pathologiques regroupent l'ensemble des maladies qu'un patient est susceptible de contracter. Elles sont classées en treize catégories reproduisant les principales fonctions de l'organisme. On trouve les catégories suivantes.

#### (a) Les affections cardio-vasculaires

Cette catégorie regroupe les affections des vaisseaux sanguin, il peut s'agir de lésions des artères ou des veines (phlébites), et les maladies du coeur. Les maladies du coeur peuvent être dues à des malformations, à des maladies du muscle cardiaque, des fibres nerveuses qui commandent le coeur et des valves du coeur. Les maladies engendrées par ces lésions sont classées dans cette catégorie, il s'agit de : l'hypertension artérielle, l'infarctus du myocarde, l'accident vasculaire cérébral, l'artérite, l'angor, l'anévrisme de l'aorte, les troubles veineux, le souffle cardiaque, les maladies des valves, la cardiomégalie, l'endocardite, l'insuffisance cardiaque, les myocardites, la péricardite, la maladie de Bouveret, le bloc auriculo-ventriculaire, le bloc de branche gauche...

#### (b) Les affections respiratoires

Cette catégorie regroupe les maladies du poumon quelle que soit leur origine : allergique, infectieuses, tumorale, mal formative, et leurs localisations : enveloppes du poumon, bronches, alvéoles etc. On y trouve : l'asthme, la bronchite chronique, la dilatation des bronches, l'emphysème, la maladie de la plèvre, la silicose, la tuberculose pulmonaire, l'insuffisance respiratoire...

#### (c) Les affections neurologiques

Cette catégorie regroupe les affections du système nerveux central (cerveau, moelle épinière) et périphérique (nerfs). Elle recouvre l'épilepsie, la méningite, l'hémiplégie, la paraplégie, la tétraplégie, l'hémorragie méningée, l'hypertension intra-cranienne, l'hydrocéphalie, les encéphalopathies, la maladie de Parkinson, la sclérose en plaque, la spina bifida, la maladie de Charcot, la maladie de Little...

#### (d) Les affections psychiques

Cette catégorie regroupe les maladies non organiques, sans lésion connue du cerveau. Il peut s'agir d'affections psychiatriques peu graves ou de maladies graves comme les démences. On y trouve la dépression nerveuse, la tentative de suicide, les psychoses, les démences séniles, la maladie d'Alzeihmer, les névroses...

#### (e) Les affections métaboliques

Cette catégorie regroupe les affections hormonales (thyroïdes, surrénales), les affections d'organes ayant une fonction de production d'enzymes (pancréas), de filtre et d'élimination des déchets (foie). On notera que certaines de ces affections représentent des facteurs de risques des affections cardio-vasculaires. Parmi les affections métaboliques, on trouve le diabète, les maladies de la thyroïde, les hépatites, hypercholestérolémie, hyperlipidémie, triglycérides, obésité...

- (f) **Les affections ostéo-articulaires**  
 Cette catégorie regroupe les maladies des os et des articulations quelle que soit leur origine (inflammatoire, dégénérative, mécanique ou infectieuse) ou leur localisation (membres, colonne vertébrale, crâne, cage thoracique). On trouve l'hernie distale, l'arthrose du rachis cervical ou lombaire, l'arthrose de la hanche ou coxarthrose, les autres localisations de l'arthrose, les maladies rhumatismales, l'ostéoporose, la polyarthrite rhumatoïde, la maladie de Paget, le mal de Pott...
- (g) **Les affections infectieuses**  
 Cette catégories regroupe les maladies dues à des infections à virus, à bactéries, à parasites quelque soit leur localisation. Parmi les infections réside la tuberculose, les affections à streptocoques, la poliomyélite, la mononucléose infectieuse, la syphilis, le SIDA, le paludisme, la brucellose...
- (h) **Les handicaps**  
 Cette catégorie regroupe les infirmités congénitales ou acquises et les séquelles de maladies ou d'accidents responsables d'un handicap physique ou mental. Ce sont la cécité, les troubles visuels (glaucome), la surdité, les troubles de l'audition, les handicaps congénitaux...
- (i) **Les affections malignes ou cancers**  
 Cette catégorie regroupe les affections tumorales et les maladies sanguines malignes. Il s'agit des cancers de la peau, de l'utérus, du sein, de la thyroïde, des testicules, des poumons, des os, de la digestion, du sang, de la prostate, et des maladies de Hodgkin et de Recklinghausen...
- (j) **Les affections digestives**  
 Cette catégorie regroupe les maladies du système digestif (tube, estomac, foie, intestins). On trouve la cirrhose, la maladie de la vésicule biliaire, les calculs, la maladie de Crohn, les polypes du colon, l'hémorragie digestive, la gastrite, les ulcères de l'estomac, les pancréatites...
- (k) **Les affections rénales**  
 Cette catégorie regroupe les maladies de la fonction rénale, qui ne sont pas d'origine maligne comme l'insuffisance rénale, les maladies du rein (calculs, hématurie), la goutte ou hyperuricémie...
- (l) **Les affections hématologiques**  
 Cette catégorie regroupe les maladies du sang et de la moelle osseuse. Elle recouvre l'hémophilie, les anémies, les polyglobulies, les thrombopénies...
- (m) **Divers**  
 Cette catégorie regroupe les affections non classables dans les rubriques existantes. Il s'agit des intoxications, des troubles divers comme la toxicomanie, les vertiges...

### ***La détermination des examens***

Les examens demandés par les expert peuvent être de sept types. Ils ont été classés selon la nomenclature suivante.

- (a) L'examen général

Cette catégorie regroupe d'une part les résultats d'examens généraux pratiqués par le médecin conseil sur le client, et d'autre part des données générales sur son état de santé. Il s'agit de sa profession, son âge, son poids, sa taille, sa tension artérielle minimale, sa tension artérielle maximale ainsi que des renseignements sur la consommation de tabac...

**(b) L'examen sanguin**

Cette catégorie regroupe les résultats d'analyse de sang. Cet examen relate les marqueurs biologiques recherchés dans le sang du client. Ce sont : la glycémie à jeun, la glycémie en charge, l'hémoglobine glycosylée, le cholestérol total, le HLD cholestérol, les triglycérides, l'acide urique, l'urée, les transaminases SGOT-SGPT, la bilirubinémie, les gamma-GT, l'amylasémie, la kaliémie, la fibrinémie, la vitesse de sédimentation, le fer sérique, le taux de prothrombine, le TCK (temps de céphaline kaolin), la NFS (numération formule sanguine), les globules rouges, les globules blancs, les plaquettes, les dosages hormonaux, les sérologies (les marqueurs de la syphilis, du sida)...

**(c) L'examen urinaire**

Cette catégorie regroupe les résultats d'analyses des composants de l'urine du client. Il s'agit de la glycosurie à jeun, la glycosurie en charge, la protéinurie...

**(d) L'électrocardiogramme**

Cette catégorie regroupe les résultats appréciant la fonction cardiaque. Différents troubles sont recherchés comme :

- les troubles de la fréquence cardiaque : tachycardie, bradycardie ;
- les troubles du rythme cardiaque : rythme régulier ou irrégulier, les extrasystoles auriculaires, les extrasystoles ventriculaires, le bigéminisme, le trigéminisme, la fibrillation auriculaire, la fibrillation ventriculaire, le flutter auriculaire, la tachycardie paroxystique ;
- les troubles de la conduction : le bloc sino-auriculaire, le bloc auriculo-ventriculaire I et II et III, le bloc de branche droit ou gauche et complet ou incomplet ;
- les hypertrophies : auriculaires ou ventriculaires, gauches ou droites ;
- les lésions : présence d'onde T inversée ;
- les nécroses : présence d'onde Q ;
- et éventuellement, le contrôle du pace maker.

**(e) Les radiographies**

Cette catégorie regroupe les résultats de radiographies d'organes ou d'os. Elles sont très rarement demandées aux clients.

**(f) Les comptes rendus opératoires**

Cette catégorie regroupe les résultats d'analyses histologiques et cytologiques de kyste ou tumeurs . Il s'agit de la définition des adénomes, de la présence de métastases...

**(g) Les autres examens**

Cette catégorie regroupe les résultats d'examens qui ne peuvent être demandés aux clients, en raison d'un coût trop élevé (notons que c'est l'assureur qui paie intégralement les frais de visites et d'analyses médicales) ou bien du risque que peuvent entraîner ces examens. Cependant, certains dossiers sont agrémentés des résultats :

- d'un Doppler qui apprécie l'état des vaisseaux artériels et veineux ;
  - d'une épreuve d'effort évaluant la réserve myocardique ;
  - d'une coronarographie appréciant l'état des vaisseaux coronaires ;
  - d'une échocardiographie observant le mécanisme des pièces cardiaques.
- Ainsi, d'autres indicateurs de l'état de santé du client peuvent être recherchés par des examens spécifiques.

Notons que ce ne sont pas les examens qui sont importants, mais les résultats ou les marqueurs qu'ils mettent en relief. Dans ce sens, un examen évalue la gravité d'une maladie déclarée par le client ou bien détecte une maladie ignorée du client. Les examens ont donc à la fois une fonction diagnostic et pronostic.

### *La détermination des traitements*

*E ...Il (le client) a passé une visite, le généraliste lui dit qu'il a 17/10 de tension, c'est une hypertension, malgré un traitement aux beta-bloquants.*

Une autre classe de concepts intervient dans la tarification, il s'agit des traitements. La classification des médicaments ou des traitements suivis par le client constitue un problème, tant le nombre de médicaments existant sur le marché pharmaceutique est grand. Aussi, la verbalisation des traitements s'est-elle limitée aux principales classes de traitements, telles qu'elles sont généralement présentées en médecine. En les verbalisant, l'expert les a d'emblée ventilées en fonction des affections dégagées précédemment. De ce fait, en rédigeant le tableau ci-dessous, l'expert a établi une relation conceptuelle, reliant les traitements et les grands groupes de maladies.

Groupes de maladies	Classes de traitements
Cardio-vasculaire	Diurétiques Cardiotoniques Beta-bloquants Régime désodé Anti-angoreux Anti-hypertenseurs Vasodilatateurs Hypolipémiantes Protecteurs veineux
Endocrinologie	Hormones hypothalamiques Hormones hypophysaires Corticoïdes Anti-thyroidiens
Gastro-entérologie	Anti-acides Anti-ulcéreux Laxatifs Anti-diurétiques Protecteurs intestinaux
Hématologie	Anti-coagulants Anti-agrégant plaquettaire Dérivés sanguins Produits anti-hémophiles
Hépatologie	Anti-lithiasiques
Infections	Anti-biotiques Anti-tuberculeux Anti-mycosique Anti-fongique

Métabolisme	Hypoglycémiantes oraux Régime alimentaire Insuline
Neurologique et psychique	Analgésiques Analgésiques tableau B (stupéfiants) Anti-migraineux Anti-parkinsoniens Anti-épileptiques Anti-myasthéniques Sédatifs Hypnotiques Neuroleptiques Anxiolytiques Anti-dépresseurs
Parasitologie	Anti-paludiens
Pneumologie	Désensibilisation Bronchodilatateurs Corticoïdes Analeptiques respiratoires Expectorants
Rhumatologie	Corticoïdes Anti-inflammatoires non stéroïdiens Anti-goutteux
Toxicologie	Désintoxication
Urologie et Néphrologie	Traitements de l'adénome de la prostate Anti-oxaliques Anti-uriques Calcium Phosphore
Gastro-entérologie	Anti-acides Anti-ulcéreux Laxatifs Anti-diurétiques Protecteurs intestinaux

### *La détermination des actes thérapeutiques*

*E* Donc là pour résumer, c'est l'idée qu'il faut retenir : le sous-cripteur, le candidat à l'assurance ne peut connaître qu'une partie du protocole : l'acte chirurgical fait partie d'un protocole qui associe d'autres gestes thérapeutiques : une chimio associée, avant ou après, une radiothérapie associée, avant ou après, parfois une tri-association : **chirurgie, chimiothérapie, radiothérapie**. Donc l'important, c'est d'essayer de plutôt que d'avoir la notion précise sur l'acte chirurgical, ce qui est important, en matière de tumeur, hein, en matière de pathologie cancéreuse, c'est d'avoir la notion du protocole complet de thérapeutique qui associe plus de choses, donc là c'est le...le moyen de voir depuis quand, depuis quel recul il n'a pas eu d'aggravation de l'état de son rein. Bon ensuite, bien évidemment à l'occasion de la découverte par, par la, par le candidat qui précise qu'il a eu une intervention sur le rein on peut être amené à faire un bilan biologique. Bilan biologique explorant la fonction rénale, bilan biologique parce qu'il est évident que puisqu'on lui a enlevé un rein, il n'en reste plus qu'un, lo-

*giquement ça suffit pour vivre parfaitement bien. Mais si ce rein reste, ou si ce rein seul qui reste se détériorait ou était amené à se détériorer, et bien on verrait la fonction rénale se dégrader et on aboutirait vers l'insuffisance rénale, qui est une complication éventuelle d'un rein unique. Donc on voit apparaître là déjà une possibilité de complication, c'est-à-dire que sur rein unique, ce rein fonctionnant moins bien, comme il n'a pas la possibilité d'être contrebalancé par l'autre rein qui n'existe plus, eh bien, on voit la fonction rénale se dégrader plus rapidement et ça peut être une complication.*

Ainsi, des actes thérapeutiques sont attachés aux données médicales. Nous ne les répertorierons pas tous, ce qui tiendrait une place disproportionnée dans cette thèse.

En somme, les entretiens exploratoires ont servi à dégager les facteurs à prendre en compte dans le système expert parmi l'ensemble des connaissances intervenant dans le travail des agents. Puis, les entretiens d'inventaire des connaissances ont permis de déterminer les concepts et les relations conceptuelles manipulés par l'expert. La liste des concepts nous permettra dans le chapitre 4, concernant les résultats, de dresser une catégorisation des connaissances qui structurera la base de connaissances du système.

Une fois les concepts collectés, nous avons cherché à recueillir les raisonnements suivis par l'expert à partir d'entretiens d'études de cas.

### **3.3.1.2. La détermination des raisonnements**

La méthodologie de détermination des raisonnements s'est appuyée sur des entretiens d'étude de cas et d'analyse de documents, qui ont servi à reconstruire ou plutôt à co-construire avec l'expert les raisonnements relatifs aux décisions. La collecte des raisonnements représente une étape longue et importante du recueil des connaissances. Elle fut orientée sur la spécificité des activités de l'expert : diagnostic et pronostic.

## ***La détermination des diagnostics***

***Le diagnostic correspond à l'interprétation ou encore au décodage des résultats d'examens.***

Comme nous l'avons déjà dit, la tarification des dossiers médicaux débute généralement par le diagnostic de certaines données médicales. Le diagnostic intervient par exemple lorsque les examens biologiques (urinaire et sanguin) n'ont pas été vus par le médecin conseil départemental ayant ausculté le candidat. Les conclusions du médecin conseil peuvent ainsi être atrophiées de certains faits. Dans ce cas, les bilans biologiques sont alors envoyés au service de la décision médicale qui se charge de les interpréter, et de diagnostiquer, le cas échéant, d'éventuelles maladies. Cette situation est relativement rare, et ne pouvant voir les candidats, l'expert fait des diagnostics nuancés. Dans le doute, il s'abstient de faire des jugements trop hâtifs, et les connaissances qu'il utilise sont quasiment académiques et relèvent plus de définitions pathologiques, voire de règles préconisées par l'Organisation Mondiale de la Santé. La facilité avec laquelle il fut possible de recueillir et de formaliser, par exemple, l'intolérance aux hydrates de carbone est tout à fait typique de cette forme de savoir :

Si            Glycémie à jeun entre 1, 1 et 1, 4 g/l  
Alors        le client a une intolérance aux hydrates de carbone.

Pour ce type de savoir quasi-formalisé, ou en instance de l'être, il n'y a donc pas eu besoin d'une méthodologie particulière, si ce n'est l'analyse des documents écrits. Effectivement, ces règles étaient déjà largement formulées dans un manuel de tarification, rédigé par le médecin-chef.

Par ailleurs, d'autres règles de décision qui n'étaient pas explicitées ont nécessité quelques entretiens. C'est notamment le cas des marqueurs biologiques de la fonction rénale.

*I    Quels sont les indicateurs biologiques de la fonction rénale ?*  
*E    Il y en a un qui est fondamental, c'est la clairance de la créatinine, le meilleur indicateur qui permet de voir comment fonctionne le rein, il est très simple, il est spécifique du rein, ça caractérise, c'est vraiment un marqueur typique de la qualité de la fonction rénale. La clairance de la créatinine, c'est quoi ? La créatinine c'est un produit qui est sécrété en quantité à peu près constante dans l'organisme par jour et dont l'épuration est faite par le rein. Elle ne peut s'éliminer de l'organisme que par les urines, donc si le rein fonctionne bien on en trouve en quantité suffisante dans les urines et il n'y a pas d'augmentation de ce*

*produit dans le sang puisqu'il passe du sang vers les urines, il n'y a pas de problème. Si ça fonctionne moins bien, il y a élévation de ce produit dans le sang et une mauvaise élimination dans les urines. Donc le but de cet examen, ça consiste à faire un rapport des concentrations plasmatiques, donc dans le sang, sur la concentration urinaire, et ça donne un indicateur, si il s'élève considérablement, au-delà d'une valeur qui est définie à peu près à 125 micro moles par minute, enfin au delà d'une valeur seuil, on peut penser que le rein est en train de souffrir et d'évoluer vers ce qu'on appelle l'insuffisance rénale. Donc ça c'est relativement simple à étudier.*

Enfin d'autres types de diagnostic ne s'attachent pas seulement à diagnostiquer l'apparition d'une donnée clinique à partir d'un seuil quantitatif au-delà duquel le marqueur biologique devient un indicateur pathologique ; mais ils ont pour objectif de déterminer le niveau de gravité d'une maladie déjà déclarée chez le client. L'exemple ci-dessous relatif au diabète est typique de ce type de diagnostic de gravité.

*E Enfin le diabète, ça dépend du diabète, cela dépend de l'importance du diabète. Si c'est un pré-diabète, c'est-à-dire juste une intolérance aux hydrates de carbone, c'est pas très dangereux. Par contre s'il a un diabète insulino dépendant, c'est-à-dire qu'il doit se piquer tous les jours et que son diabète est mal équilibré, il sera plus dangereux.*

*I Comment sait-on qu'un diabète est mal équilibré ?*

*E Ben on regarde la glycémie, si la glycémie est élevée, il sera plus dangereux, ce sera un DID (Diabète Insulino Dépendant) mal équilibré et ce qui n'arrangera pas le problème cardiaque.*

En général, le statut particulier des résultats d'examens biologiques confère au savoir-faire de l'expert un caractère de diagnostic facilement verbalisable.

### ***La détermination des pronostics***

Concernant le pronostic, c'est-à-dire l'interprétation des données médicales dans le cadre du risque de mortalité du client, divers entretiens d'étude de cas ont été utilisés :

- la technique de la verbalisation provoquée a permis de détecter les informations utilisées par l'expert dans le traitement des dossiers médicaux, comme l'indique l'extrait suivant ;

- I Alors vous découvrez le document bleu (dossier médical), comment ça se passe, qu'est-ce que vous faites ?*
- E Je jette un coup d'oeil vite fait, voir ce qu'il a, ce qu'il a pas, voir son poids, voir s'il, n'a pas d'obésité, s'il est traité et on voit les traitements, sa tension, surtout dans un problème cardio-vasculaire. Bon on sait qu'il a été envoyé en visite pour une angine de poitrine, c'est sûr que je vais regarder s'il a été hospitalisé, si..., je vais regarder son traitement, et puis je vais regarder sa tension, et puis bon, c'est une lecture rapide et je vais très très vite lire ce rapport du médecin. Bon là, je sais que je vais mettre une sur-prime. (...) bon je note s'il a de l'albumine, du sucre dans les urines, bon sa tension, son rythme cardiaque. Bon dans ce cas là, il a une hypertension, bon il n'y a pas d'obésité. Il a eu un infarctus, d'après le médecin il s'en est bien remis, il n'y a pas de séquelles, il va bien, il n'y a pas de raison qu'il meure maintenant. Dans le rapport, je vais mettre infarctus postérieur, sans séquelle. Il arrive qu'il n'y ait pas de séquelle à l'électro (cardiogramme), tout va bien, le client a une bonne hygiène de vie, il suit bien son traitement... Mais **petit risque aggravé**, petit risque aggravé il est hypertendu donc avec un infarctus postérieur, c'est pas bon. Petits risques aggravés peuvent se traduire chez nous par un certain sur-risque, parce que le client il va avoir un contrat qui va durer 40 ans, et on se demande si en 40 ans il va pas en faire d'autres d'infarctus avec son hypertension.*

- des entretiens visant à saisir les justifications sous-jacentes à la prise de décision médicale ;
- des entretiens collectifs d'information à la demande à partir de cas réel ont tenté de comprendre les cheminements de raisonnements suivis par les experts ;
- des entretiens sur des cas imaginés ont cherché à simuler le traitement des dossiers ;
- enfin, les derniers entretiens avaient pour finalité d'exposer et de valider le modèle formel de l'expertise auquel nous sommes parvenus, auprès du médecin-chef.

### ***Principes de caractérisation des pronostics***

Les agents tarificateurs présupposent que les diagnostics rédigés par les médecins conseils départementaux sont cohérents, consistants et exhaustifs, en bref pertinents. Autrement dit, ils se trouvent dans une situation de lecture où ils attribuent un certain degré de pertinence à ce qui est écrit dans les dossiers. Ils cherchent les critères de

la gravité d'un dossier médical, et ce faisant ils recherchent les informations pertinentes qui permettent de conclure à une ou plusieurs formes d'aggravation ou d'atténuation. Sous-jacent à l'aggravation, qui est un concept trop général pour être opérationnel, on trouve des heuristiques qui interprètent contextuellement les données médicales.

Une des difficultés majeures de la mise en évidence des heuristiques a consisté à comprendre les fluctuations de significations que peut subir une donnée médicale en fonction du contexte particulier du traitement d'un dossier donné. De fait, il faut tenir compte non-seulement de la tarification d'une maladie en soi, mais également des associations d'une maladie avec d'autres au sein d'un même dossier médical. Par exemple, l'association d'un infarctus avec une cardiomégalie au sein d'un même dossier, fait apparaître la notion de complication qui sert à établir une relation conceptuelle et inférentielle entre deux données médicales.

*E Enfin, un tas de truc qui vient compliquer. Alors l'infarctus quand il est apparu ; donc il est finalement grave, et une des complications graves, serait qu'il y ait aussi une cardiomégalie.*

Elle apparaît également dans l'extrait suivant.

*I Quelles peuvent être les suites d'un infarctus ?*

*E Elles sont émaillées d'un certain nombre de complications. Elles peuvent survenir très précocement, près de l'infarctus, à moyen terme ou à long terme. Les complications à court terme, immédiatement après l'infarctus, on ne les considère pas en terme de tarification, parce qu'il est évident qu'un sujet ne peut pas arriver avec un infarctus qui a quelques heures. Nous on est au moins à un minimum de six mois à un an de recul par rapport à cet infarctus. Des complications très graves sont des troubles du rythme très importants, c'est-à-dire que le coeur bat de façon très anarchique.*

*I Comment l'appelle-t-on ?*

*E Fibrillation ventriculaire. C'est l'urgence. Il faut la réduire très rapidement, sinon le sujet décède. Donc ce, ce type de complication on n'en parlera pas, tout au plus on pourra évoquer un antécédent de fibrillation ventriculaire. sinon, ce que l'on va assurer ce sont les complications qui existent au moment où le sujet se présente à l'assurance. Alors quelles peuvent être les complications que l'on peut redouter à cette époque ?*

*l'apparition de troubles du rythme, par exemple des battements du coeur qui sont anormaux. Et ce que j'évoque là c'est ce que l'on appelle l'extrasystole. Donc des complications de ce type là, des troubles du battement du coeur. C'est grave aussi, alors là on a des entités comme des blocs de branches, des blocs auriculo-ventriculaires qui sont relativement graves. Dans cet état, on peut être amené à refuser l'individu, le bloc auriculo-ventriculaire est un motif de refus, sauf s'il y a un traitement efficace qui est proposé. Donc les suites d'un infarctus sont nombreuses, elles s'apprécient en terme de gravité.*

Un autre exemple illustrant des relations entre les conceptuelles et inférentielles entre des données cliniques apparaît lorsque l'expert évoque l'appréciation d'une donnée par une autre, notamment l'infarctus et le diabète.

*E ..A la limite, un client qui a eu un infarctus, qui n'a pas beaucoup de séquelles, que ses artères ne sont pas sclérosées, il n'a rien au bilan, pas de cholestérol, pas de diabète, il a plus de chance de s'en sortir sans en faire un autre, avec une bonne hygiène de vie il aura un meilleur pronostic qu'un client qui aurait eu un infarctus dont on sait qu'il a du cholestérol et un diabète. On sait que ça n'améliorera pas les artères, et il y a des chances qu'il fasse un autre infarctus. Bon dans le cas d'un infarctus avec un diabète, on apprécie les maladies ensemble, même si c'est pas les mêmes (sous-entendu si elles n'appartiennent pas à la même catégorie d'affections), parce que le diabète risque à nouveau de boucher les artères et d'entraîner un nouvel infarctus ou une complication cardiaque.*

**Pronostiquer revient, en autre chose, à expliquer les co-présences de données médicales dans un dossier.**

Comme l'indiquent ces exemples, lorsque des informations sont en relation, elles sont utilisées par l'expert en tant que prémisses d'un processus d'inférence débouchant sur de nouvelles connaissances : dans le contexte d'un dossier où se trouvent un infarctus et une cardiomégalie, la cardiomégalie devient une complication de l'infarctus. C'est pourquoi la cardiomégalie n'est plus tarifée isolément (ce qui serait le cas, s'il n'y avait pas d'infarctus dans le dossier), mais en tant qu'aggravation de l'infarctus. De la même façon, l'infarctus n'est pas tarifé isolément, mais il est évalué dans le cadre d'un contexte pathologique où une de ses évolutions cliniques est la cardiomégalie. De cet exemple nous déduisons que relativement à un contexte, la tarification d'au moins deux données médicales distinctes consiste généralement en la détermination d'heuristiques

pouvant expliquer médicalement la co-présence de ces données au sein d'un même dossier. C'est cette idée que nous développerons plus avant.

En définitive, la collecte des concepts et raisonnements nous a conduit à déterminer des corpus d'énoncés relatifs aux concepts et aux raisonnements, qui, à leur tour ont servi à l'élaboration d'une modélisation, qui sera explicitée ci-dessous.

### 3.3.2. Méthodologie d'élaboration d'un modèle d'expertise

*La méthodologie de conception repose à la fois sur la réduction de l'expertise et sa substitution formelle.*

L'élaboration d'un modèle d'expertise est une étape délicate du recueil d'expertise. C'est en effet elle qui conditionne l'efficacité, la performance du système expert et surtout son acceptabilité par l'expert et les futurs utilisateurs.

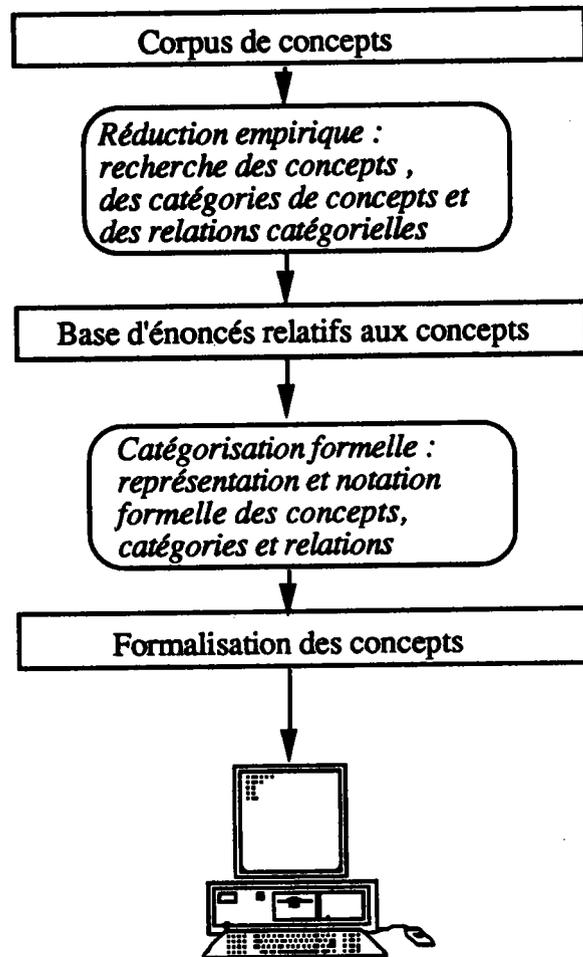
Cette modélisation est guidée par deux principes, respectivement la catégorisation des connaissances, et la substitution des formes logiques naturelles (verbalisées) par des formes logiques formelles automatisables.

#### 3.3.2.1. Principe d'élaboration d'un modèle des concepts : la catégorisation des concepts

*Il s'agit d'organiser les concepts dans la base de connaissances.*

La modélisation des concepts vise d'une part à la mise à plat de l'organisation mnémorique des concepts de l'expert et d'autre part, à l'élaboration d'un modèle formel compatible avec cette organisation. La mise en évidence des concepts et de leurs structurations repose bien évidemment sur des entretiens d'inventaire des connaissances. Lors de ces entretiens, l'expert a été prié de dire les concepts qu'il manipulait et de les classer selon les techniques de tri conceptuel. Une fois ces connaissances recueillies, nous nous sommes attachés à la construction des catégories conceptuelles. Cette dernière repose en premier lieu sur une réduction empirique qui a écarté un certain nombre de concepts, et en second lieu, sur un principe de catégorisation des connaissances (figure 13).

Figure 13. Principe méthodologique de modélisation des concepts



### *Réduction empirique des concepts*

La réduction des concepts, rendue nécessaire par des contraintes de conception (durée du recueil, difficulté d'implémentation...), a évacué deux types de connaissances médicales relatives à l'expertise. Premièrement, les connaissances liées aux mécanismes physio-pathologiques et anatomo-pathologiques ont été évincées. Secondement, les connaissances relatives à l'interprétation de certains faits physiologiques n'ont pas été prises en compte. C'est pourquoi les connaissances utilisées dans l'interprétation des examens électriques et radiologiques ont-elles été minimisées et réduites aux seuls éléments pris en compte dans la tarification d'un dossier. Prenons l'exemple de l'électrocardiogramme (ECG), qui est un examen électrique de la fonction cardiaque. La présence à l'ECG d'une onde Q est un indicateur (entre autres choses) d'un antécédent d'infarctus. Ce sont uniquement ces deux concepts que nous avons retenus, en

l'occurrence infarctus et onde Q reliés par un raisonnement du type : si (présence d'une onde Q) alors (possibilité d'un antécédent d'infarctus). De ce fait, la relation entre l'onde Q et l'infarctus n'est pas expliquée en termes médicaux. Ni le cheminement physiopathologique entre l'infarctus et l'onde Q, ni les connaissances relatives à l'identification de l'onde Q sur le tracé de l'ECG ne sont mis en lumière dans la modélisation. De la sorte, le réductionnisme des connaissances que nous avons suivi n'a retenu que les connaissances opératives. En bref, notre méthodologie nous oriente à concevoir un système expert travaillant avec des connaissances fragmentaires et laconiques, faute de pouvoir prendre en compte l'ensemble des connaissances de compétence de l'expert.

Les concepts de l'expertise, ainsi réduits aux seuls éléments pertinents du point de vue de la prise de décision, ont ensuite été regroupés selon un des principes de catégorisation esquissé par Rosch (1976) et discuté par Kleiber (1988).

### *Catégorisation formelle des concepts*

La méthodologie de catégorisation repose sur la recherche des conditions nécessaires et suffisantes décidant de l'appartenance ou de la non-appartenance d'un concept à une catégorie. De la sorte, on estime qu'un concept appartient à une catégorie s'il possède les attributs constituant le dénominateur commun de la catégorie, sinon il n'appartient pas à la catégorie. Par conséquent, les catégories prennent la forme d'entités discrètes ayant des traits communs qui les différencient des autres catégories. Une catégorie se définit donc à la fois de l'intérieur et de l'extérieur. Tout d'abord de l'intérieur, dans le sens où les concepts d'une catégorie partagent des référents communs ayant un degré élevé de similarité, qui donnent à la catégorie une signification pour l'expert. Puis enfin de l'extérieur, dans la mesure où les concepts d'une catégorie se différencient d'une autre catégorie en tant que ces catégories possèdent des traits qui les distinguent. Globalement, cette première étape de la modélisation de l'expertise que constitue la construction des catégories de concepts, s'attache à déterminer un modèle prédictif de l'organisation mnémonique de l'expertise et à traduire ce modèle en une formalisation qui définira par la suite la structuration de la base de connaissances du système expert. De cette façon, la catégorisation des connaissances nous fournit un principe de modélisation des concepts.

Cependant, si ce principe s'avère satisfaisant pour classer des connaissances et les implémenter en machine, il introduit un biais méthodologique important. En effet selon ce principe, la signification d'un concept est déterminée non pas par des propriétés pragmatiques, mais par une représentation sémantique de ce que le concept désigne. Ici se trouve une faiblesse de la catégorisation des connaissances : elle établit uniquement les relations conceptuelles et catégorielles entre les concepts sans définir les relations contextuelles que ces concepts entretiennent. Elle restreint alors la signification à une dimension sémantique et ne tient pas compte de la dynamique des concepts, c'est-à-dire de leurs capacités à découvrir de nouveaux faits ou de nouvelles configurations de connaissances.

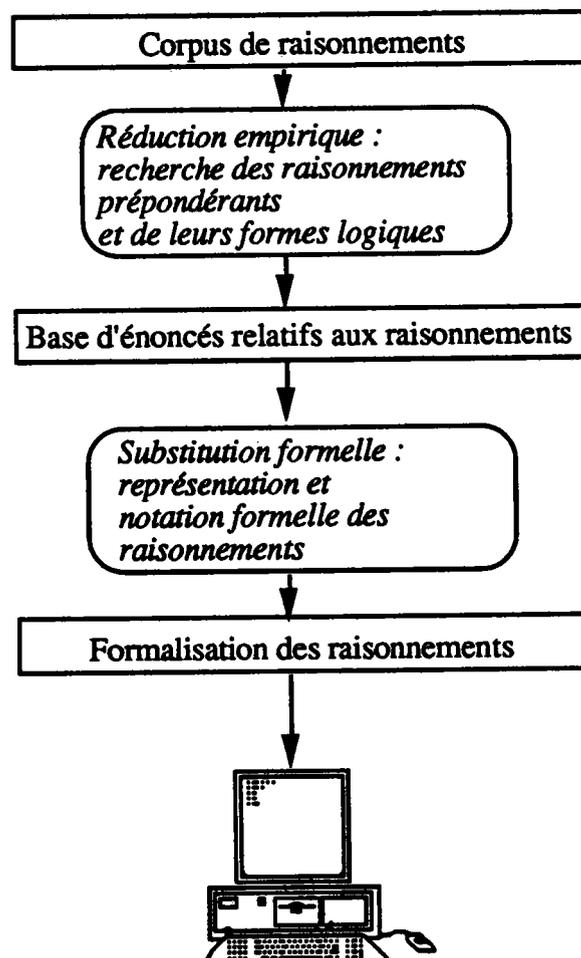
Ainsi, la catégorisation, vue comme un principe d'analyse d'entretiens d'inventaire de connaissances induit le fait que les catégories d'éléments de connaissances sont structurées de façon définitive et sont codées informatiquement sous forme de prototypes ayant le degré d'appartenance à une catégorie qui soit le plus élevé possible. Sous cet angle, la catégorisation des connaissances revient à définir les objets, leurs propriétés, et à figer une de leur signification dans un contexte donné.

En conclusion, la méthodologie de modélisation des concepts induit la réduction de la signification des concepts. Elle entraîne un biais méthodologique, la restriction prototypique, à laquelle la conception d'un système expert ne peut (encore aujourd'hui) s'abstraire, compte tenu des contraintes techniques. La restriction prototypique définit un processus de catégorisation des connaissances qui postule des frontières nettes entre les catégories et occulte le flou des appariements. La restriction prototypique prétend également que l'expert a les compétences nécessaires pour évaluer le degré de similarité des appariements prototypiques. La restriction prototypique est donc un processus de spécification des caractéristiques d'un système expert qui ne reproduit pas les deux aspects dynamiques de l'organisation des connaissances : d'une part la composition des catégories varie en fonction du contexte dans lequel elles sont activées, ce qui les rend instables ; d'autre part, la richesse d'une classification est précisément de pouvoir être reconstruite chaque fois que l'individu se trouve dans des contextes nouveaux. Aussi, afin de pallier ces insuffisances, la modélisation des raisonnements s'est attachée à définir les variations de sens auxquelles les catégories sont soumises, en fonction des modifications du contexte d'interprétation des dossiers médicaux.

### 3.3.2.2. Principe d'élaboration d'un modèle des raisonnements : la recherche des formes logiques

D'une façon large, un raisonnement est une suite de propositions liées les unes aux autres selon des principes déterminés et aboutissant à une conclusion. Ces principes spécifiques reposent sur des formes logiques ayant des possibilités d'inférence, et notre méthodologie vise en premier lieu à extraire les raisonnements du corpus, et en second lieu à les formaliser selon un langage formel compatible avec les raisonnements de l'expert et avec les exigences d'implémentation (figure 14). Ainsi, la modélisation des raisonnements repose sur la réduction et la substitution des raisonnements énoncés par des raisonnements automatiques.

Figure 14. Principe méthodologique de modélisation des raisonnements



### *Réduction empirique des raisonnements*

***Il s'agit de retenir et de formaliser les raisonnements prépondérants.***

Des verbalisations provoquées (informations à la demande et études de cas) a été extrait un corpus de raisonnements. Ce corpus, composé des raisonnements estimés pertinents et **prépondérants**, est encore une fois une réduction des raisonnements de l'expert aux seules formes intervenant dans la tarification. Ainsi, si nous reprenons l'exemple de l'infarctus et de l'onde Q, nous ne retenons que la condition et la conclusion du raisonnement, c'est-à-dire respectivement l'onde Q et l'infarctus. Les raisonnements intermédiaires, expliquant la présence d'une onde Q par une lésion cardiaque qui interfère la propagation d'une onde électrique émise par le myocarde, sont exclus du corpus des raisonnements qui ont servi à la modélisation. De la sorte, nous avons extrait les raisonnements opératoires, au risque d'induire une vision laconique du processus de prise de décision.

### *Substitution formelle des raisonnements*

Une fois le corpus de raisonnements délimité, nous avons tenté de substituer le langage naturel produit en situation d'entretien, par un langage formel automatisable et compatible avec les raisonnements de l'expert. Pour ce faire, nous sommes intéressés à deux types de raisonnements.

Les premiers mettent en relation des propositions avec des formes logiques. C'est le cas typique du diagnostic où les conditions (indicateurs biologiques de la glycémie dans le sang par exemple) sont reliées à une conclusion (la maladie pré-diabétique) par les connecteurs formels "si, alors, et, ou". Dans ce cas, ce sont des formes logiques identifiées par des connecteurs qui manipulent des concepts pouvant être des conditions ou des conclusions d'un raisonnement. En d'autres termes, la forme logique réside dans les connecteurs logiques de l'énoncé, et c'est la présence de ces derniers qui permet d'inférer une conclusion à partir d'une condition.

Les seconds types de raisonnements mettent en relation des propositions grâce à des concepts. Par exemple, un antécédent d'infarctus est compliqué par des troubles du rythme cardiaque, c'est-à-dire que pour un individu ayant eu un infarctus la présence d'un rythme cardiaque irrégulier est une complication de l'infarctus qui laisse présager un risque d'aggravation de son affection cardio-vasculaire. Les concepts infarctus et troubles du rythme sont reliés par le concept de "complication", qui fait du second élément de la proposition

une complication du premier. Ces raisonnements, mettant en relation des concepts par d'autres concepts, n'ont pas besoin de connecteurs pour générer de nouvelles conclusions : leur présence engendre des possibilités d'inférences. Plus loin nous montrerons que des formes logiques tombent sous ces concepts bien particuliers que nous appellerons **opérateurs cognitifs**.

Une fois ces deux types de raisonnements détectés, nous avons choisi un système de notation des raisonnements parmi ceux existant, qui soit le plus adapté à aux objectifs de la programmation afin de garantir un haut niveau de performance du système.

En somme, les principes méthodologiques d'élaboration du modèle d'expertise constituent un ensemble de choix de conception défini à partir d'objectifs de conception (réalisation d'un système expert) et de contraintes de conception (durée, outils de programmation). Ces principes résultent donc d'un compromis entre ces objectifs et ces contraintes. Ils ont permis d'aboutir à la construction d'un modèle d'expertise, défini comme un squelette conceptuel du modèle mental de l'expert, qu'il nous fallût ensuite valider.

### 3.3.3. Méthodologie de validation

Afin de valider la modélisation, notre méthodologie s'est inspirée du cadre conceptuel de validation des systèmes experts dégagé par O'Leary (1987) s'articulant autour des critères de validité, de précision, d'objectivité, et de considérations socio-économiques. La validation s'est déroulée selon un test où le système expert était mis en compétition avec trois experts humains. Selon cette procédure de validation, le système traitait les dossiers parallèlement aux experts humains sans que ces derniers ne soient avertis des résultats obtenus par le système.

Notre objectif étant d'évaluer la modélisation cognitive, notre méthodologie vise essentiellement à valider l'intégrité cognitive du système expert. En se centrant sur la confrontation des raisonnements et décisions du système avec ceux des experts humains, nous avons délibérément écarté de la validation l'employabilité et l'utilisabilité de la machine. En bref, la validation porte essentiellement sur son acceptabilité, encore qu'elle ait un impact sur l'employabilité du système.

Retraçons les différentes options méthodologiques prises quant au choix des experts, au choix des dossiers, à la passation du test et aux techniques d'analyse des résultats.

### ***Le choix des experts***

Trois experts ont été sollicités pour participer au test. Le premier, médecin, a participé activement à la conception du système expert. Le second, spécialisé de longue date dans l'évaluation des dossiers l'assurance-vie, a été associé à la conception de la première maquette du système expert. Le troisième enfin, n'était pas encore embauché dans le service lors de la conception d'AndromED et n'a rejoint le service de la décision médicale qu'après la mise en place effective du système. Par la diversité de leurs expériences et formations, ces trois experts constituent ainsi un échantillon suffisamment représentatif pour valider différents aspects du système expert.

### ***Le choix des dossiers médicaux soumis conjointement aux experts et au système***

***L'échantillon est volontairement non-représentatif.***

L'échantillon des dossiers ayant servi au test n'est pas du tout représentatif de l'ensemble des dossiers parvenant chaque année au service de la tarification. En effet, plus de 90% des dossiers ne présentant aucun risque aggravé, il n'était donc absolument pas intéressant de valider le système sur la base de dossiers normaux, car la majorité de ces dossiers n'aurait pas activé les connaissances implantées dans le système. Or, c'est l'activation des connaissances qui nous permet de valider le système. De plus, la représentativité de l'échantillon nous aurait conduit à prouver à coup sûr que le système expert était très fiable, compte tenu du fait qu'il aurait été fiable pour les 90% de dossiers qui ne présentent pas de risque aggravé. En conséquence de quoi, seuls des dossiers comprenant des risques médicaux ont servi à la validation. Parmi les nombreux dossiers archivés entre 1983 et 1990, nous en avons sélectionné 32 qui représentaient différents niveaux de complexité et abordaient l'ensemble des thèmes de la médecine. Parmi ces 32 dossiers, un a été retiré car des erreurs de saisie avaient été faites lors de son évaluation avec le système expert. Et un autre a servi d'exemple afin d'expliquer aux experts le principe du test. Ce dossier a ensuite été écarté des résultats.

L'échantillon des 30 dossiers retenus répondait à trois critères.

- (a) La présence de risques aggravés : tous les dossiers de l'échantillon contiennent au moins un risque de mortalité susceptible de modifier les termes du contrat d'assurance.
- (b) La quantité de données cliniques présentes dans le dossier : nous avons choisi des dossiers avec plus ou moins de facteurs de risque afin d'observer comment le système aborde le problème de la combinaison des données cliniques.
- (c) La diversité des affections : nous voulions des dossiers abordant des maladies les plus variées possibles. Encore une fois ce critère n'est pas représentatif de la population des souscripteurs. Les tables de mortalité indiquent par exemple que 39% des individus décèdent des suites de maladies cardio-vasculaires. Si nous avons retenu ce critère, nous aurions surtout observé le comportement du système expert dans seulement quelques affections, alors que nous souhaitions étudier les raisonnements automatiques dans des affections variées.

En définitive, notre échantillon de dossiers n'est représentatif ni de la population, ni des causes de décès. Par exemple, nous avons choisi le dossier d'un individu très obèse (157 kilogrammes pour 1,67 mètre). Ce dossier représente un cas sur les trente de notre échantillon. Or il est clair que ce ratio de 1/30ème n'est ni représentatif de la population française ni représentatif des clients à l'assurance. C'est pourquoi, dans l'optique de valider de nombreux aspects de la base de connaissances et pour ne pas être tenté de ratifier le système expert en lui soumettant des dossiers simples (et dans notre cas la simplicité découle de la représentativité des candidats), nous avons choisi de lui présenter des dossiers absolument non-représentatifs. C'est en effet en poussant le système dans ses extrémités, que l'on peut observer si son comportement est conforme ou non, à ce qu'en attendent les experts humains.

### *La passation du test*

Le test s'est déroulé sur trois demi-journées. Les experts, réunis autour d'une table, étaient chargés de tarifer de façon collégiale les dossiers qui avaient déjà été tarifés manuellement. A tour de rôle, ils lisaient à voix haute l'ensemble des éléments du dossier (dossier d'état de santé rédigé par le médecin ayant ausculté le client, bilan biologique, résultats ECG...). Dans le même temps, les autres experts posaient des questions sur d'éventuels aspects du dossier qui leur semblaient obscurs ou peu clairs. De la sorte, ils en venaient à déterminer chacun leur décision et à l'écrire sur un formulaire, puis ils la justifiaient. Parallèlement, la consigne était pour chacun

d'évaluer le degré de complexité du dossier sur une échelle en six points.

Degré de complexité du dossier :	Simple	1	2	3	4	5	6	Complexe
----------------------------------	--------	---	---	---	---	---	---	----------

Ensuite, nous avons confronté la décision prise par le tarificateur ayant traité manuellement le dossier à celle d'AndroMED. Après cela, les experts étaient priés de discuter la décision du système expert et d'indiquer leur accord ou désaccord avec cette décision sur une échelle en six points.

Degré d'accord avec la décision :	Accord	1	2	3	4	5	6	Désaccord
-----------------------------------	--------	---	---	---	---	---	---	-----------

Nous avons procédé enfin à la lecture des justifications émises par le système, c'est-à-dire le cheminement qui le conduisait à sa décision. Là encore, les experts étaient sollicités pour indiquer leur degré d'accord avec les justificatifs d'AndroMED.

Degré d'accord avec la justification :	Accord	1	2	3	4	5	6	Désaccord
--	--------	---	---	---	---	---	---	-----------

En bref, le recueil des résultats de la validation (voir annexes) s'est attaché à collecter les degrés de concordance ou de discordance entre les décisions et les justifications des experts et celles de la machine.

### *Le choix des techniques d'analyse quantitative et qualitative des résultats*

Quant à l'analyse des résultats, la théorie des tests d'hypothèse nous sert de cadre d'étude de l'acceptabilité des décisions du système expert. Néanmoins, si ces tests ont l'avantage de fournir une comparaison statistique entre l'homme et la machine, il n'en demeure pas moins qu'ils comportent quelques inconvénients. Notamment les tests d'hypothèses :

- n'apportent pas toujours une réponse adaptée au problème posé par la validation (Gonzalez, 1988) ;
- reposent sur un clivage fort entre l'hypothèse nulle et l'hypothèse alternative, et donc ils ne permettent pas une graduation de la validité du modèle ;
- font abstraction de la façon dont les connaissances ont été recueillies, formalisées et implémentées ;
- enfin, ils ne tiennent pas compte du hasard des prises de décision : il se peut très bien que l'homme ou la machine trouve la

bonne décision tout simplement par hasard, surtout dans le cas où la liste des conclusions possibles du système est finie.

Nonobstant ces critiques ou biais méthodologiques, le traitement statistique s'est avéré utile, notamment l'étude des corrélations entre les décisions des experts et celles d'AndroMED.

Une analyse plus qualitative, basée sur l'étude du contenu des justifications rédigées par les experts et leur comparaison avec les justifications du système a complété l'analyse quantitative. Elle a servi à déterminer les origines de la compatibilité ou de l'incompatibilité entre le fonctionnement du modèle et le fonctionnement interne des experts.

---

## 3.4. CONCLUSION

---

Notre démarche porte sur trois aspects de la modélisation de la cognition :

- (a) la modélisation des concepts et des catégories ;
- (b) la modélisation de l'activation et de la manipulation des connaissances ;
- (c) la validation de la modélisation par sa simulation.

La modélisation de la cognition est envisagée comme la construction d'un "circuit informatisable". Ce circuit comprend des connaissances organisées en catégories. Les catégories sont reliées entre elles par des relations conceptuelles. Et la prise de décision est conçue comme un processus de recherche des informations pertinentes localisées dans ce circuit. Enfin, la compatibilité entre le circuit et la cognition humaine est étudiée sous l'angle de l'acceptabilité du circuit par les individus.

La méthodologie s'est appuyée sur la description de la situation d'expertise étudiée, et a repris chacun de ces points en définissant les critères suivis pour modéliser la cognition et valider le système expert.

Dans le chapitre 4, nous présentons la modélisation de la cognition à laquelle nous avons abouti, ainsi que les principaux résultats qui se sont dégagés.

---

## 4. RESULTATS, MODELISATION DE LA COGNITION

---

*Les résultats permettront de présenter une modélisation de la cognition de l'expertise en assurance-vie, qui dégagera tout d'abord la modélisation des concepts puis celle des raisonnements. Il s'agit ainsi de proposer une architecture logicielle du fonctionnement de la cognition. Enfin, nous aborderons les résultats de la validation intrinsèque de la modélisation en montrant le degré de compatibilité entre le système et les experts.*

Dans la situation particulière de ce recueil d'expertise, le modèle formel de l'expertise a émergé à partir de plusieurs analyses des données ayant porté sur les points suivants :

- (a) la description des entités conceptuelles constituant l'ensemble des données à partir desquelles le système cognitif va évoluer pour fournir des solutions ;
- (b) la détermination et la simulation des règles mimant le fonctionnement cognitif de l'expert humain, c'est-à-dire ses raisonnements ;
- (c) l'explicitation des connaissances de contrôle, c'est-à-dire des connaissances capables d'intervenir sur la façon dont le système conduit les déductions afin d'améliorer la consistance et la cohérence de sa base de connaissances.

Avec l'objectif de détailler ces trois points, nous nous attacherons dans un premier temps, à décrire le modèle de représentation des concepts de l'expertise selon une structuration inspirée des modèles de la mémoire sémantique (ou des modèles orientés objets, pour employer une terminologie informatique). Dans un deuxième

temps, nous exposerons le modèle de représentation des raisonnements de l'expert qui simule l'activation et la manipulation des connaissances. Nous présenterons également les procédures implémentées dans le but de contrôler la gestion de la base de connaissances. Ceci nous amènera à proposer un modèle de la cognition s'appuyant sur la notion d'opérateur cognitif. Enfin, dans un troisième temps, nous analyserons les résultats du test de simulation du modèle, ce qui nous permettra d'indiquer quelques intérêts et limites de la modélisation.

---

## **4.1. LA MODELISATION DES CONCEPTS**

---

La modélisation des concepts consiste en la construction des catégories conceptuelles manipulées par l'expert, où interviennent les connaissances conceptuelles et les connaissances catégorielles. A ce niveau de la modélisation des connaissances, le modèle de compétence de l'expert est décliné en spécifications automatisables.

### **4.1.1. La catégorisation des concepts**

Les entretiens d'inventaire de connaissances -tri conceptuel- tout comme l'analyse des supports écrits de tarification -dossiers médicaux, questionnaires de santé et manuel de tarification- ont permis de dégager quatre catégories de concepts intervenant dans la prise de décision. En effet, la décision s'appuie sur :

- les affections déclarées par le client, c'est-à-dire les maladies qu'il a ou a eu ;
- les examens médicaux auxquels il a été soumis ;
- les traitements qu'il suit, c'est-à-dire la prise régulière de médicaments ;
- les actes thérapeutiques qu'il a subi ; il s'agit là des interventions médicales lourdes telles qu'une opération chirurgicale, une chimiothérapie, une radiothérapie...

Analysons plus précisément ces quatre points.

#### 4.1.1.1. La catégorisation des affections

*La catégorisation des affections fait apparaître des niveaux de hiérarchisation entre les données cliniques.*

La catégorisation des maladies passe par la classification des affections. Cette dernière provient des connaissances publiques et reproduit les grandes spécialisations de la médecine. De plus, elle permet de dégager une hiérarchisation : les affections superordonnent des maladies ou données cliniques. Notons que le terme de donnée clinique est préféré à celui de maladie car il n'implique pas forcément que le client soit malade. Une donnée clinique est alors un élément pathologique persistant à la suite d'une maladie ou pouvant entraîner une maladie.

La catégorisation des affections met également en évidence une hiérarchisation des données cliniques, qui se manifeste par exemple au niveau des affections cardio-vasculaires :

*E Alors après on rentre dans la classification des angors. L'angor se clarifie un peu par le mécanisme qui est à l'origine de cet angor. Alors quand on parle d'une maladie, pour savoir quelles en sont les causes, on parle des étiologies ou des causes de la maladie. Alors première cause, c'est ce que l'on appelle la maladie athéromateuse, qui est une première cause d'apparition d'angine de poitrine, c'est l'angor athéromateux. Autre cause, on peut expliquer l'apparition d'une souffrance cardiaque par un autre mécanisme qui est celui du spasme coronaire qui définit un autre type d'angor qui s'appelle l'angor de Prinzmetal. C'est principalement les deux grands mécanismes. Il y en a d'autres, mais ils sont tellement accessoires qu'on ne les évoque presque jamais.*

Il apparaît de cette façon qu'au sein des affections cardio-vasculaires se trouve une classe de données cliniques intitulée "angor". Celle-ci comprend deux composants : l'angor athéromateux et l'angor de Prinzmetal. Elle se définit de l'extérieur de la catégorie du fait de son unité anatomo-pathologique, et de l'intérieur par différenciation des mécanismes physio-pathologiques à l'origine de l'angor.

Toujours à propos de l'angor, l'expert nous a déclaré ceci :

*E Quand on connaît les mécanismes, il faut clarifier l'angor par sa répercussion, par son importance. Ce n'est pas tout d'avoir une maladie athéromateuse, est-ce grave ou bénin ? Pour cela, on représente l'importance de l'angor par la répercussion dans la vie habituelle. C'est pour cela qu'on dit que c'est un angor*

*qui survient par exemple tant de fois par mois et pour des efforts très violents. Cet angor peut survenir pour des efforts habituels de la vie, par exemple le seul fait de porter un panier. Vous voyez déjà que la gravité est plus importante. L'angor peut apparaître au repos, il ne fait pas d'effort et il voit apparaître immédiatement une crise d'angine de poitrine. Vous voyez que la gravité est encore plus importante, puisque l'on n'a pas la relation d'effort pour provoquer cette crise d'angor. Donc à partir de ça on définit un peu la gravité de l'angor. Voilà un petit peu ce qu'il faut savoir sur l'angor.*

Il existe en quelque sorte des spécifications de données cliniques ayant pour but d'apprécier la gravité de la donnée clinique. Dans le cas de l'angor, les spécifications concernent d'une part la fréquence des crises d'angor, c'est-à-dire le nombre de crise par mois, et d'autre part le type d'angor, c'est-à-dire ses conditions d'apparition.

**Quatre niveaux de hiérarchisation sont présents dans la catégorisation des affections.**

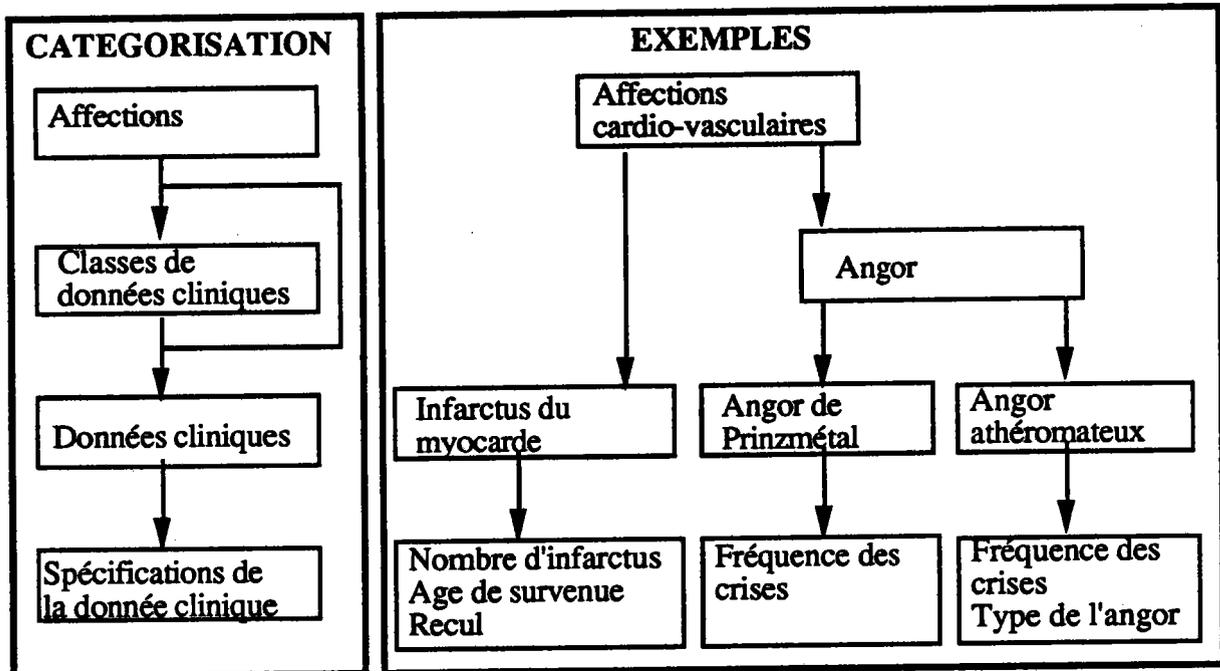
Plus généralement, la catégorisation des données cliniques met en lumière quatre niveaux de hiérarchisation :

- le niveau des affections ;
- le niveau des classes des données cliniques (qui est un niveau facultatif, dans la mesure où toutes les données cliniques ne se rattachent pas à des classes de données cliniques, comme par exemple l'infarctus du myocarde, voir figure 15) ;
- le niveau des données cliniques correspondant à l'expression d'un fait pathologique ;
- et enfin le niveau des spécifications des données cliniques.

Globalement, la classification des pathologies rapportée à l'ensemble des affections fait apparaître une catégorisation et une hiérarchisation des concepts présentées dans la figure 15.

En définitive, la catégorisation des affections fait apparaître trois notions (classe de données cliniques, données cliniques et spécifications de la donnée clinique). La catégorisation établit quatre niveaux de concepts, liés par des relations de subordination (ou de supériorité, si on les considère d'un point de vue ascendant). Elle induit une représentation arborescente descendante qui fige la dépendance des concepts les uns par rapport aux autres.

Figure 15. Catégorisation des affections, des classes de données cliniques, des données cliniques et des spécifications de données cliniques.

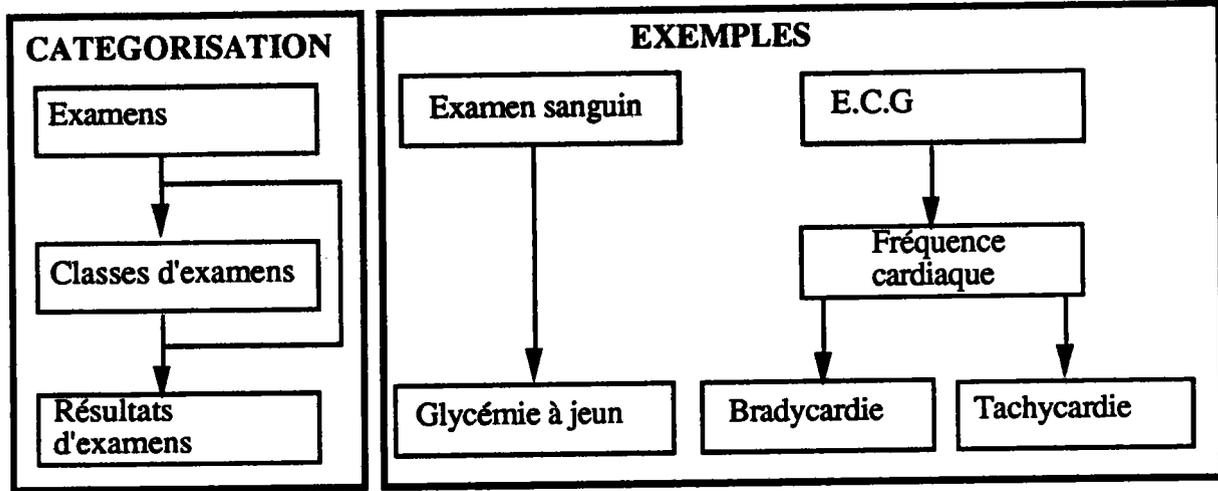


#### 4.1.1.2. La catégorisation des examens

La catégorisation des examens met en lumière des hiérarchisations conceptuelles. De la même façon que les affections, certains examens, en particulier l'électrocardiogramme et les radiographies, se décomposent en classes d'examen qui apprécient des spécificités de certaines données cliniques. Par exemple, on trouve dans l'électrocardiogramme des classes d'examen comme les troubles de la conduction, les lésions ou les troubles du rythme et des résultats d'examen comme la bradycardie. A l'inverse, les examens généraux, sanguins et urinaires ne se divisent pas en classe mais directement en résultats (figure 16). De surcroît, les examens entretiennent des relations conceptuelles avec les affections. Ainsi, par exemple l'électrocardiogramme apprécie l'état cardio-vasculaire du client alors que le bilan sanguin évalue surtout son métabolisme.

Schématiquement, la classification des examens est représentée dans la figure 16.

Figure 16 Catégorisation des examens, classes d'examens et résultats d'examens



La catégorisation des examens met en évidence les notions de classes d'examens et de résultats d'examens. Une fois encore, elle établit des relations hiérarchiques entre les divers niveaux.

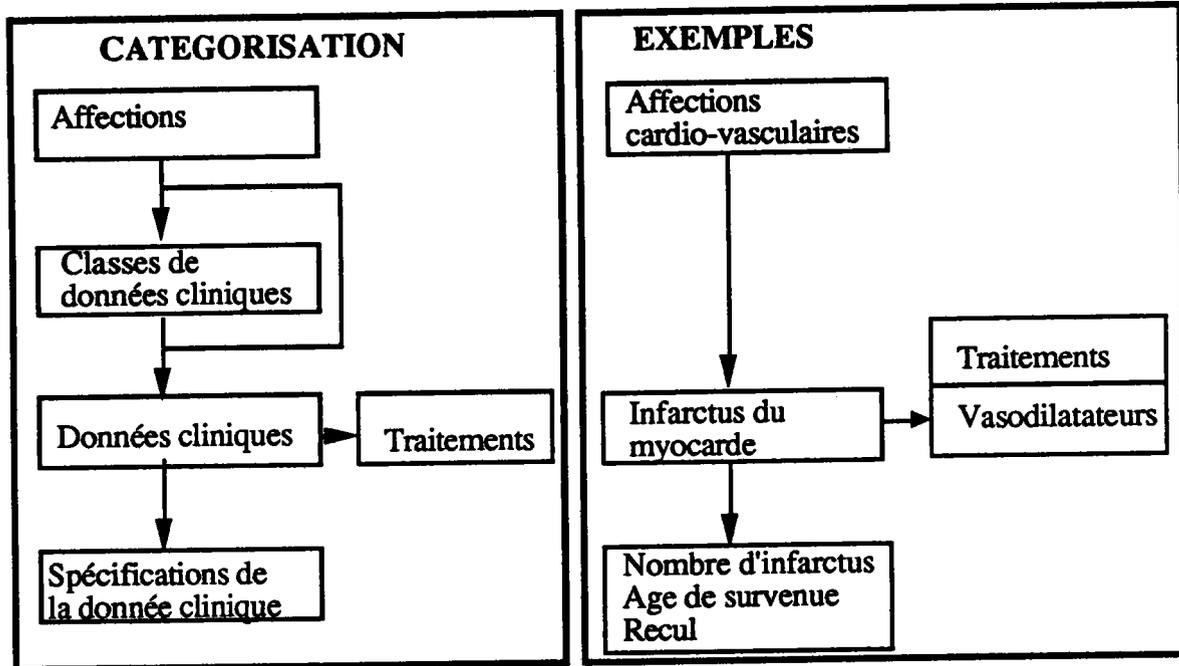
### 4.1.1.3. La catégorisation des traitements

*L'analyse des traitements met en évidence une relation conceptuelle de dépendance.*

La démarche d'explicitation des traitements a permis d'établir que les traitements étaient en relation avec des groupes de données cliniques. Par conséquent, la catégorie des traitements se définit de façon interne par l'amélioration de l'état de santé du client, et de façon externe par des relations qu'elle entretient avec les données cliniques : à une donnée clinique correspond une classe de traitements qui peuvent potentiellement améliorer l'état de santé du candidat (figure 17). La catégorisation des traitements a donc une propriété de quasi-symétrie : en connaissant le nom du médicament, il est possible de faire des hypothèses sur la maladie du client ; et, connaissant sa maladie, on peut également se douter du type de traitement que son médecin lui a prescrit. La catégorisation doit faire apparaître cette relation conceptuelle entre des traitements et des données cliniques.

En bref, la catégorisation des traitements ne fait plus état de relations de hiérarchisation. Au contraire, elle rend manifeste des relations de dépendances conceptuelles entre les données cliniques et les traitements. Cette relation a une propriété quasi-bijective qui permet potentiellement de déduire un des termes de la relation à partir de la connaissance de l'autre.

Figure 17. Relations entre les affections, les données cliniques et les traitements



#### 4.1.1.4. La catégorisation des actes thérapeutiques

*Il existe des relations conceptuelles entre les thérapeutiques et les données cliniques.*

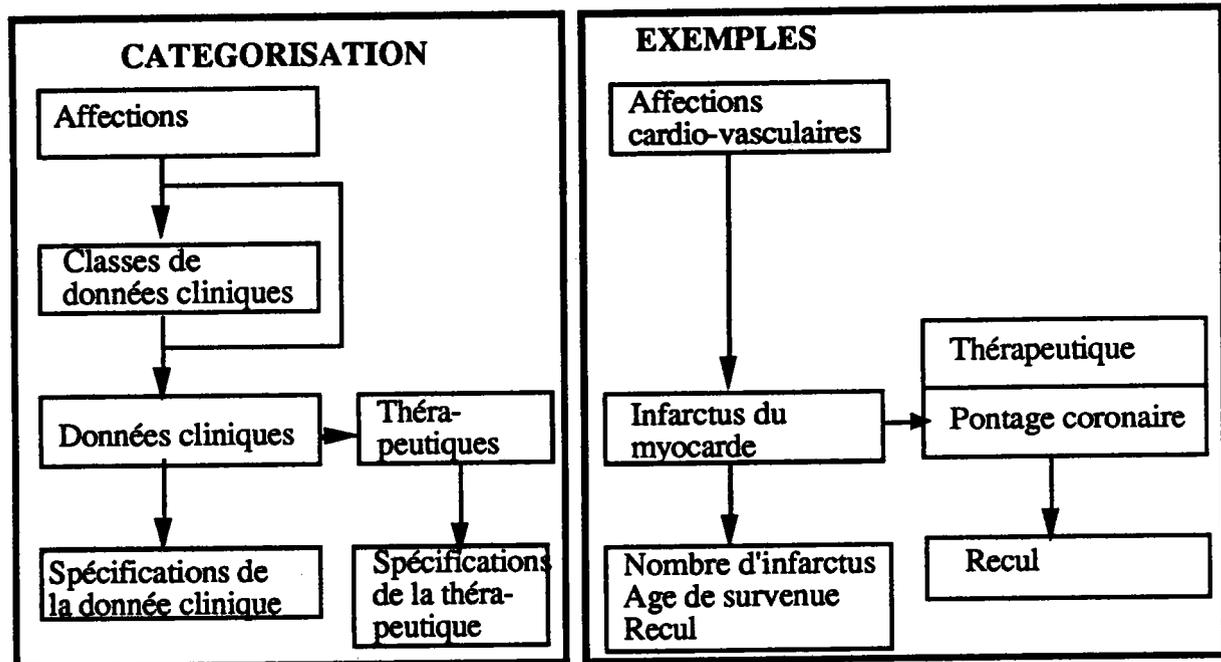
Les connaissances conceptuelles de l'expertise se réfèrent à une dernière catégorie : les thérapeutiques. Du point de vue de la médecine d'assurance, les actes thérapeutiques constituent des interventions lourdes limitées dans le temps visant à améliorer de façon plus ou moins durable l'état de santé d'un patient. Elles sont de trois types : les interventions chirurgicales, les radiothérapies, les chimiothérapies. A l'instar des traitements, les actes thérapeutiques sont spécifiques des données cliniques du client. A partir d'un diagnostic, une équipe soignante préconise un acte thérapeutique en fonction de la maladie du client. Ainsi, les relations entre les affections, les données cliniques et les thérapeutiques peuvent être représentées de la façon suivante (figure 18).

*Certaines thérapeutiques ont des spécifications.*

Certaines thérapeutiques ne peuvent être appréciées qu'après un certain délai. Celui-ci représente un indicateur de la justesse du diagnostic d'une part, et un élément pronostic sur la survie du client d'autre part. En conséquence, les thérapeutiques ont des spécifications libellées généralement en terme de recul. Elles ont pour fonction de caractériser les suites de l'intervention. Par exemple, il n'est possible d'estimer un pontage coronaire qu'après un délai de six mois, sans quoi l'expert ne peut se prononcer sur la survie du

client, car en deçà de ce délai il ne peut apprécier l'efficacité de l'acte thérapeutique.

Figure 18. Relations entre les affections, les maladies et les thérapeutiques.



Tout comme celle des traitements, la catégorisation des actes thérapeutiques insiste sur les relations de dépendances conceptuelles existant entre un acte thérapeutique et une donnée clinique. Encore une fois, cette relation comprend une propriété déductive : connaissant l'acte thérapeutique d'un client, on peut déduire avec une forte probabilité la maladie à l'origine du soin, et inversement, connaissant une donnée clinique, on peut prédire avec une forte probabilité ses évolutions thérapeutiques possibles. Mais en plus de cette particularité qu'ils partagent avec les traitements, les actes thérapeutiques entretiennent une relation hiérarchique avec des spécifications. Ces dernières ont pour fonction de caractériser au mieux le contexte d'appréciation de la thérapeutique.

## 4.1.2. La catégorisation globale des connaissances : architecture cognitive des connaissances conceptuelles et architecture logicielle

*Les catégories sont structurées de façon interne par des relations hiérarchiques, et reliées de façon externe par des relations de dépendances conceptuelles.*

Le regroupement des unités de connaissances conceptuelles est réalisé à partir des diverses catégories médicales appartenant aux connaissances publiques. De cette façon sont déclinés les examens, les affections, les données cliniques, les actes thérapeutiques et les traitements médicaux. Des relations conceptuelles entre les soins (actes thérapeutiques et traitements médicaux) et les données cliniques sont dressées. De plus, des spécifications peuvent caractériser certaines données cliniques et autres actes thérapeutiques. Elles doivent obligatoirement être renseignées afin de préciser le contexte minimal dans lequel une maladie peut apparaître.

Schématiquement, la constitution d'une structure d'ensemble de la représentation des connaissances est une démarche constante de la formalisation des concepts. Elle débouche sur la mise en lumière d'une architecture cognitive fonctionnelle des connaissances conceptuelles de l'expert, et constitue ainsi un modèle de compétence de l'expertise.

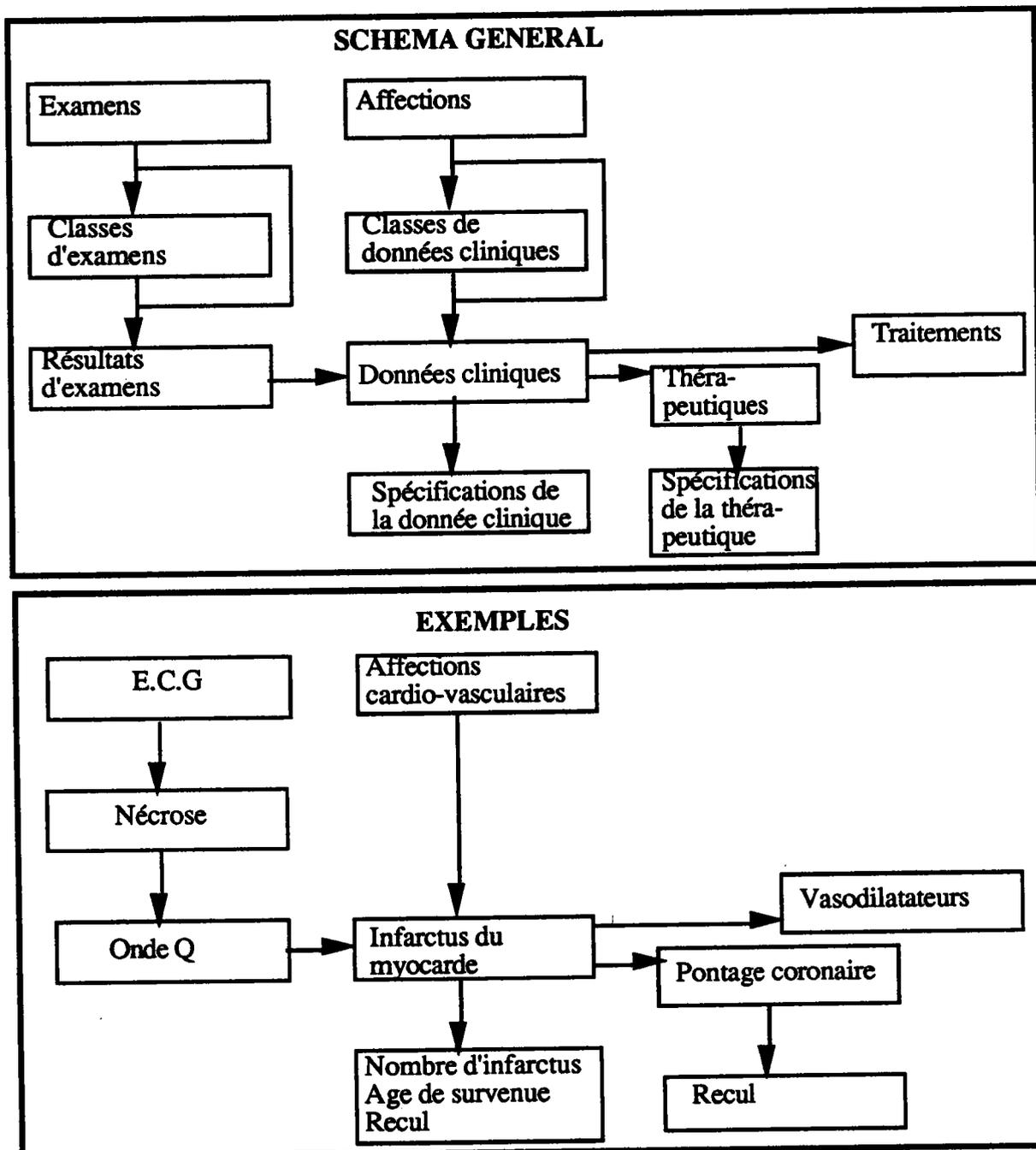
*La catégorisation permet de dégager un modèle descriptif et prédictif des connaissances de compétence.*

La multiplication des tris conceptuels sur de nombreuses affections nous a permis de dégager un modèle de la mémoire sémantique de l'expert (figure 19). Celui-ci, avant tout descriptif, représente une formalisation des connaissances verbalisées par l'expert. Pour une grande part, ces connaissances appartiennent au savoir publique, et la catégorisation ressemble sans doute à des taxonomies proposées dans les ouvrages de médecine. Ce modèle est également prédictif puisqu'il esquisse des possibilités d'inférences entre les catégories, notamment entre les données cliniques et :

- les résultats d'examens ;
- les traitements ;
- et les actes thérapeutiques.

Par conséquent, les données cliniques apparaissent comme des données centrales de la catégorisation des connaissances. Elles sont aussi des données centrales des raisonnements, en assurant la fonction de prémisses nécessaires à l'activation des raisonnements de pronostic.

Figure 19. Catégorisation globale des concepts.



Plus largement, la modélisation représente ici un modèle virtuel de la mémoire de l'expert, dont les composants sont définis de façon catégorielle, de manière à indiquer :

- les critères d'appartenance d'une connaissance à une catégorie, établis par des relations hiérarchiques de subordination ;
- et les relations entre les différentes catégories, caractérisées par des relations de dépendances conceptuelles.

Partiellement inspirée des modèles objets et fondée sur la base de l'architecture des connaissances conceptuelles, l'architecture logicielle considère implicitement la connaissance manipulée par l'expert comme des sous-classes d'une classe plus générale, qui peut elle-même être sous-classe d'une classe générale. La formalisation informatique de la catégorisation a en effet pris la forme d'une classification hiérarchique et thématique des données médicales et induit, de fait, une abstraction de leur signification.

En résumé, la catégorisation des connaissances a rendu possible une modélisation des connaissances de compétence de l'expertise. Cette modélisation, à la fois descriptive et prédictive, a ensuite été traduite en spécifications informatiques, notamment sous la forme d'une structure d'objets. La catégorisation des connaissances a ainsi établi une structure des données de la base de connaissances, qui a consisté à associer un objet à une classe d'objets. De la sorte, les catégories de concepts sont figées de façon quasi immuable : un concept est attaché à une et une seule catégorie. Il en découle quelques limites, comme nous allons le voir dans le paragraphe suivant.

### **4.1.3. Limites de la modélisation des concepts : la restriction prototypique**

Si la modélisation des concepts a l'avantage d'aboutir à une formalisation informatique facilement implémentable, et de fournir une prédiction sur la catégorisation des connaissances et de leurs relations, elle comprend néanmoins quatre grosses lacunes. Elle :

- n'est pas capable d'assimiler le sens multiple de certains concepts ;
- donne l'illusion d'une homogénéité des catégories alors qu'elles sont en partie mouvantes et instables ;
- correspond à une vision minimaliste des connaissances conceptuelles de l'expert ;
- induit une vision statique des connaissances.

Afin d'illustrer ces quatre critiques, prenons un exemple. Les troubles du rythme sont décrits comme appartenant aux examens et plus précisément comme étant une classe de l'électrocardiogramme. Or, les troubles du rythme sont également une donnée clinique : un coeur battant rapidement ou lentement n'est pas toujours un coeur

pathologique.

En effet, supposons un individu bradycarde, c'est-à-dire ayant un rythme cardiaque lent. La bradycardie a un triple codage : d'une part elle représente un indicateur d'examen, d'autre part elle constitue une donnée clinique, enfin elle peut très bien ne pas être pathologique. Effectivement, un individu sportif sera souvent bradycarde, sans que cette bradycardie soit pathologique. Qui plus est, sa bradycardie sera interprétée comme une bonne adaptation de son coeur aux efforts physiques qu'il produit. En définitive, comme beaucoup d'autres données médicales la bradycardie peut être : normale, pathologique, indicateur d'examen ou encore donnée médicale d'une catégorie d'affection.

Plus subtilement, la variation du contexte de tarification d'un dossier médical entraîne des modifications importantes dans la catégorisation des connaissances. De ce fait, la modélisation des concepts est inapplicable à toutes les facettes d'une catégorie et ne fait que reproduire les grandes classifications médicales, sans être capable d'intégrer le contexte de survenue d'une donnée clinique.

En ce sens, la catégorisation induit une restriction prototypique des connaissances. On présuppose à tort que les catégories d'éléments de connaissances se structurent de façon définitive et sont codées informatiquement sous forme de prototypes des membres ayant le degré d'exemplarité le plus élevé d'une catégorie. L'exemple de la bradycardie indique que cette vision des connaissances est trop restrictive. Alors que la bradycardie est classée dans les résultats de l'électrocardiogramme, nous voyons que l'appartenance de la bradycardie à cette catégorie n'est pas aussi stricte. Le contexte d'apparition de la bradycardie représente alors une donnée cruciale de sa compréhension. En effet, selon qu'elle apparaît à la suite d'une prise de bêta-bloquant, d'entraînements sportifs ou encore de la mise en place d'un pace-maker, la bradycardie n'a plus la même signification. Par conséquent les prédictions que l'on peut faire sur la catégorisation sont relativement limitées et réduites à une compréhension fragmentaire des données médicales.

Si la catégorisation formelle des connaissances a globalement l'avantage de fournir un modèle descriptif et prédictif de l'expertise, il n'en demeure pas moins que ce modèle est tout à fait insuffisant à expliquer une grande partie des catégorisations et raisonnements que l'expert est amené à effectuer dans une prise de décision. Pour cette raison, il est nécessaire que les raisonnements

parviennent à établir le contexte dans lequel la bradycardie, et plus généralement toutes les données médicales, doivent être interprétées.

---

## 4.2. LA MODELISATION DES RAISONNEMENTS

---

Notre démarche nous a conduit à dissocier le recueil des diagnostics de celui des pronostics. Il en est de même pour la modélisation. Aussi, nous présenterons tout d'abord la modélisation des diagnostics, puis ensuite celle des pronostics. Ceci nous conduira enfin à envisager la modélisation de la cognition à travers la notion d'opérateur cognitif.

### 4.2.1. La modélisation des diagnostics

L'analyse des résultats recueillis permet d'obtenir une typologie des diagnostics effectués par les tarifificateurs, et une formalisation de ces diagnostics sous la forme d'un mécanisme d'inférences à base de règles de production.

#### 4.2.1.1. Typologie des diagnostics en tarification médicale

Le diagnostic ne permet pas en soi l'évaluation d'un dossier médical. Il n'aboutit jamais à une décision de tarification. Par contre, il sert à interpréter des signes cliniques, biologiques, radiologiques et électriques dans un contexte qui permet ensuite de pronostiquer le risque médical échu au candidat. Le diagnostic consiste donc à suivre les variations de valeur de certains résultats d'examens. Les résultats des diagnostics sont évalués par la suite en terme de gravité, et donc d'espérance de vie. Ils sont repris lors du pronostic car ils autorisent des inférences pour comprendre la gravité globale d'un dossier. Autrement dit, les diagnostics mettent en relation des indicateurs avec des données cliniques ; ils aident à découvrir de nouveaux faits à partir d'informations généralement relatives aux examens. Ils établissent donc des corrélations entre des symptômes et des situations de tarification.

L'activité de diagnostic a été typée selon trois classes, correspondant à trois situations particulières.

- Le premier type, le **diagnostic de nouveauté**, tient compte de l'apparition récente d'indicateurs médicaux hors normes. Ceux-ci sont découverts lors des examens biologiques d'entrée à l'assurance.
- Le deuxième type, le **diagnostic de gravité**, cherche à évaluer la gravité d'une maladie qui a été déclarée par le candidat ou diagnostiquée par le médecin qu'il a visité. Le diagnostic de gravité évalue également l'efficacité d'un traitement médical ou d'un acte thérapeutique.
- Le troisième type, **diagnostic d'incohérence**, a pour finalité de détecter les combinaisons de résultats d'examens qui s'avèrent soit impossibles, soit difficiles à comprendre au sens de la médecine appliquée à l'assurance-vie.

Nous les présenterons successivement.

#### 4.2.1.1.1. Les diagnostics de nouveauté

##### *Définition*

*Ils correspondent à la détection d'une nouvelle donnée clinique.*

Un diagnostic de nouveauté représente un diagnostic d'une maladie découverte chez le client à l'assurance lors des examens biologiques demandés par l'assureur. Le client découvre en même temps que l'assureur qu'il a telle ou telle maladie. La gravité de la donnée clinique récemment diagnostiquée est faible puisque de fait l'expert est amené à penser que le client vit très bien avec sa maladie, et qu'elle ne le gêne pas dans ses activités quotidiennes. Cependant, celle-ci risque de s'aggraver ultérieurement.

##### *Exemple*

Prenons l'exemple des indicateurs biologiques de la fonction rénale. Ces indicateurs, en particulier la clairance de la créatinine, apprécient la capacité du rein à éliminer les déchets, et attestent donc de son bon ou mauvais fonctionnement. La présence d'une valeur de créatinine supérieure à 125 micro moles par minute constitue un élément pour le diagnostic d'une insuffisance rénale.

##### *Formalisation*

Cet exemple nous permet de dégager la règle suivante :

*Si Clairance de la créatinine > 125 micro moles / minutes*

*Alors Le diagnostic de nouveauté = Insuffisance rénale*

Plus généralement, les diagnostics de nouveauté sont formalisés de

la façon suivante :

- soit une donnée clinique DC non déclarée ou non diagnostiquée par le médecin ayant ausculté le client ;
- soit un indicateur I détecté lors d'un examen, I est une valeur comprise au dessus ou au dessous d'un seuil. I peut donc être normal ou anormal.

*Si I ∉ norme*

*Alors Diagnostic de nouveauté = DC*

De la sorte, la raison d'un diagnostic de nouveauté est la découverte une nouvelle maladie, que le client ignorait en toute bonne foi ou cachait. Un diagnostic de nouveauté sert donc à activer une donnée clinique, dont la gravité est ultérieurement pronostiquée.

#### 4.2.1.1.2. Les diagnostics de gravité

##### *Définition*

*Ils correspondent à la mesure de la gravité d'une donnée clinique déclarée.*

Il s'agit de l'appréciation de la gravité d'une pathologie en fonction d'indicateurs obtenus à partir d'examens complémentaires. Un diagnostic de gravité consiste en un diagnostic de l'aggravation d'une maladie déjà connue du client. Lors d'examens médicaux, les indicateurs de la maladie ne sont pas bons et laissent entendre que la maladie a empiré.

##### *Exemple*

Si on prend l'exemple relatif à la tarification d'un dossier d'une personne diabétique et suivant un régime, on découvre lors d'une prise de sang que les indicateurs de la glycémie sont en dehors des normes. Dans ce cas, on conclut que le diabète est mal équilibré ou mal toléré. Ceci constitue un diagnostic de gravité. Celui-ci sous-entend que si le client ne suivait pas un traitement, son état clinique serait encore plus grave. Pour ce client, le diagnostic de gravité montre que le diabète est grave.

##### *Formalisation*

Cet exemple nous permet de dégager la règle suivante :

*Si glycémie élevée*

*et si diabète insulino dépendant déclaré*

*Alors diagnostic de gravité = diabète insulino dépendant mal équilibré*

Rapportée aux indicateurs biologiques du sucre dans le sang, cette

régle s'écrit ainsi :

*Si glycémie à jeun  $\geq 1,4$  g / l*  
*et/ou si glycémie en charge  $\geq 2,2$  g / l*  
*et/ou si hémoglobine glycosylée  $\geq 21\%$*   
*et si diabète déclaré*

*Alors diagnostic de gravité = diabète mal équilibré.*

Plus généralement, les diagnostics de gravité sont formalisés de la façon suivante :

- Soit une donnée clinique DC1 diagnostiquée par le médecin ayant ausculté le client.
- Soit une donnée clinique DC2 marquant une aggravation de la DC1.
- Soit un indicateur I détecté lors d'un examen.

*Si  $I \notin$  norme*  
*et si présence de DC1*  
*Alors Diagnostic de gravité = DC2*

Par conséquent, les diagnostics de gravité ont pour finalité de détecter et de qualifier des aggravations de données cliniques déclarées par le client. Ils permettent de faire une inférence supplémentaire à partir de la détection d'une donnée clinique déclarée. Sachant que le client a telle maladie, le diagnostic de gravité autorise l'appréciation de la gravité de cette maladie.

#### 4.2.1.1.3. Les diagnostics d'incohérence

##### *Définition*

*Ils correspondent à la détection des incohérences de la base de faits.*

Le diagnostic d'incohérence est un diagnostic que nous avons introduit dans le système expert afin de pallier les erreurs éventuelles qui pourraient découler d'une prise de décision contradictoire. La démarche de modélisation des diagnostics est essentiellement logique dans le sens où elle cherche à prévenir les incompatibilités logiques qui pourraient résulter d'erreurs. Ces erreurs ont deux sources. Elles peuvent provenir des résultats d'examens qui sont contradictoires. Elles sont également possibles lors d'une erreur de saisie de l'utilisateur. Grosso modo, un diagnostic d'incohérence est réalisé chaque fois que le système suspecte une contradiction dans les informations qu'on lui fournit.

##### *Exemple*

Lors d'une prise de sang, la glycémie à jeun est élevée et la glycémie en charge normale. Il se peut alors que la personne ne soit pas à

jeun, ou bien que les résultats du laboratoires soient inexacts. La conclusion devient délicate, et le système expert conseille alors d'en référer à l'expert afin de demander de nouveaux examens. Dans ce cas, la tarification du dossier médical est suspendue.

De la même façon, il se peut que l'erreur ne provienne pas du laboratoire mais d'une erreur de saisie de l'utilisateur. Pour illustration : supposons qu'un utilisateur renseigne le système expert en indiquant que le client a à la fois une bradycardie et une tachycardie, ce qui est médicalement impossible. Une fois encore le système signale à l'opérateur l'incohérence et réengage la dialogue homme-ordinateur.

### *Formalisation*

Les diagnostics d'incohérence sont formalisés de la manière suivante :

- soient les données cliniques DC1 et DC2, telles que DC1 est une pathologie médicale opposée à DC2
- soient les indicateurs I1 et I2, tels que I1 est un indicateur inverse de I2

*Si DC1 et DC2*

*Alors Diagnostic d'incohérence = incohérence entre DC1 et DC2*

Ou encore

*Si I1 et I2*

*Alors Diagnostic d'incohérence = incohérence entre I1 et I2*

Dans le cas de la détection d'une incohérence, le système expert stoppe la tarification et envoie un message destiné à prévenir l'expert, afin qu'il examine le dossier ou modifie le diagnostic d'incohérence activé dans la base de connaissances.

## 4.2.1.2. La notation des diagnostics : les règles de production

La formalisation à laquelle nous sommes parvenus dans les trois types de diagnostics nous a conduit à opter pour un mécanisme d'inférence à base de règles de production, du type :

*Si (condition) Alors (conclusion)*

parce que ces règles traduisent fidèlement, semble-t-il, une partie des connaissances de l'expert. Ceci est d'autant plus adapté que ces règles sont en grande partie fixées par le corps médical, étayées dans le manuel de tarification de l'entreprise et reconnues par

l'Organisation Mondiale de la Santé. De plus, le diagnostic en tarification reste très grossier. Ainsi, il n'est pas utile de diagnostiquer avec précision un diabète en vue de soigner un patient, mais simplement d'interpréter, à partir de règles simples et élémentaires, des indicateurs provenant d'examens médicaux. Lors d'un diagnostic, l'objectif de l'expert n'est pas de diagnostiquer une maladie, ce qui lui est impossible sans avoir ausculté le client, mais simplement d'évaluer la gravité d'une maladie précédemment diagnostiquée.

### 4.2.1.3. Le mécanisme d'inférence dans les diagnostics

*Le moteur d'inférences repose sur la logique propositionnelle.*

Le moteur d'inférence développé est d'ordre 0+, c'est-à-dire fondé sur le calcul propositionnel, avec certaines clauses comprenant des variables numériques. Les connecteurs employés sont ceux de la logique propositionnelle : et, ou, oui, non, si, alors. Les concepts sont donc manipulés par des règles : ce sont des formes logiques qui mettent en relation des conditions et des conclusions. Les règles d'inférences permettent de faire un certain nombre de déductions sur les propositions et se trouvent à la base des mécanismes de raisonnement. De plus, le moteur d'inférences fonctionne essentiellement en chaînage avant (des causes vers les conclusions), avec une stratégie dirigée par les faits et non pas par les buts. Sa stratégie est exhaustive puisqu'il parcourt l'ensemble de l'espace des solutions afin de déclencher toutes les conclusions possibles. Les conclusions auxquelles aboutit le moteur d'inférences alimentent ensuite un autre module du système expert qui lui, vise à déterminer le sur-risque par le pronostic de l'espérance de vie du client. Ainsi, le moteur travaille sur ou avec des granules de connaissances en découvrant de nouveaux faits qui sont interprétés ensuite dans un schéma général relevant de l'activité de pronostic. C'est cette activité de pronostic que nous allons maintenant étudier.

### 4.2.2. La modélisation des pronostics

Le travail de tarification consiste principalement à pronostiquer la survie d'un client à cinq, dix, vingt, trente ans. L'activité de pronostic, est comme on s'en doute aisément, largement soumise à l'erreur. Elle repose sur une situation de communication entre un médecin ayant examiné un client et rédigé un dossier médical, et un tarificateur cherchant à inférer l'évolution de l'état de santé du client à partir des informations présentes dans le dossier.

***Pronostiquer, c'est savoir à l'avance.***

En médecine d'assurance, le pronostic prend la forme d'un jugement de l'expert après le diagnostic, sur la durée, le déroulement et l'issue d'une ou de plusieurs maladies d'un candidat. C'est donc une manière de se forger un jugement à partir de faits diagnostiqués par un médecin (ou par le système expert).

Le pronostic laisse entendre que l'expert est a priori informé de ce qui va se passer quant à l'échéance de la mort du client. Situé au centre de la prise de décision en tarification médicale, le pronostic a pour finalité de prendre un risque sur un dossier.

***L'erreur de pronostic existe.***

Le pronostic médical est sujet à l'erreur : il est tout à fait possible qu'un sujet en parfaite santé aujourd'hui décède demain, ou encore qu'un cancer se guérisse parfaitement et n'entraîne pas la mort de l'individu, tout comme il se peut aussi qu'une personne ayant eu un cancer décède en fait d'un infarctus. Le pronostic est une projection d'un état de santé sur du très long terme ; il est de ce fait éminemment sujet à l'erreur. D'autant plus qu'entre la souscription et l'échéance d'un contrat d'assurance-vie s'écoulent généralement plusieurs dizaines d'années, durant lesquelles la médecine aura fait des progrès et l'état de santé du client se sera modifié.

Pronostiquer l'évolution d'un système biologique, et en quelque sorte tarifier un dossier médical, c'est avant tout comprendre les données déclarées par le médecin examinateur en fonction du contexte. Dans son acception générale, le contexte se définit comme l'ensemble des informations qui permettent la compréhension d'une énonciation. La question de la formalisation du pronostic revient ainsi à définir le contexte, c'est-à-dire à déterminer le savoir requis et mis en oeuvre pour comprendre un dossier médical. Autrement dit, il s'agit de saisir comment le tarificateur -identifié comme auditeur de la situation de communication écrite entretenue avec le médecin examinateur- comprend les énoncés du médecin examinateur - qui prend ici le rôle d'un locuteur en rédigeant un dossier médical-. Sous cet angle, la situation d'utilisation et de production de l'expertise forme une situation sociale de communication, et doit être analysée en tant que telle. De ce point de vue, la communication, en l'occurrence celle relative à la tarification, se fait au moyen d'indices que le médecin examinateur fournit afin que le tarificateur puisse en inférer ses intentions. Rapporté à la situation qui nous préoccupe ici, nous pouvons dire que les tarificateurs s'intéressent au dossier médical pour arguer à la fois ce que le médecin examinateur a voulu dire, et ce qu'ils peuvent inférer de ce qu'il a écrit.

La modélisation du pronostic repose à la fois sur un classement thématique des pronostics, sur leur notation, et enfin sur la formalisation de leurs mécanismes d'inférences.

### 4.2.2.1. Typologie des pronostics

La principale difficulté du recueil d'expertise a été de comprendre les combinaisons de données cliniques et de les sérier comme étant ou non déterminantes dans le processus de prise de décision.

*Le problème de la modélisation est celui de la combinaison des données cliniques.*

Dans un dossier aggravé par exemple, il n'y a rarement qu'une maladie et une seule à laquelle il est possible d'attacher un pourcentage de risque médical. La tarification d'un sur-risque procède généralement de la combinaison de nombreuses données médicales selon des facteurs variés. Dans ce processus (Evans, 1984), le sujet ne balaye pas l'ensemble des combinaisons possibles lui permettant d'explorer la totalité de l'espace logique. Il fait confiance en ses intuitions de pertinence. C'est-à-dire qu'il estime que certains faits, certaines combinaisons de données médicales sont plus pertinentes que d'autres. Dans notre cas, les intuitions de pertinence reposent à la fois sur :

- les données du dossier médical rédigé par le médecin examinateur ;
- la connaissance des mécanismes anatomo-pathologiques de survenue et d'entretien d'une maladie ;
- des heuristiques acquises par l'expérience permettant de dégager la maladie principale d'un dossier et/ou de combiner selon une logique des données cliniques, des thérapeutiques, des traitements et des examens.

L'expert tient ainsi compte non seulement de la tarification d'une maladie en soi, mais également des associations d'une maladie avec d'autres au sein d'un même dossier médical. Par exemple, la tarification d'un client ayant eu un infarctus, un problème d'arthérite et étant hypertendu, ne se résume pas à l'addition de trois sur-risques élémentaires, mais constitue une évaluation globale d'un état de santé où se combinent des maladies appartenant à la famille des pathologies athéromateuses.

De cette façon, la co-présence de plusieurs données médicales dans un même dossier peut atténuer, aggraver ou encore n'avoir aucun effet sur l'état de santé du client. La modélisation des pronostics est ainsi soumise à la compréhension des associations de données médicales. A cet égard, nous avons retrouvé dans l'expertise des heuristiques cherchant à relier des données médicales a priori différentes.

Quels raisonnements ou hypothèses l'expert est-il le plus susceptible de construire et d'employer pour pronostiquer la survie du client ? Du point de vue de Sperber et Wilson c'est la pertinence qui détermine quelles connaissances particulières retiendront l'attention d'un individu à un moment donné. D'un point de vue plus particulier à cette expertise en médecine d'assurance, il semble que certains éléments d'aggravation et d'atténuation des dossiers structurent les possibilités d'inférence de l'expert. Aussi, la détermination des pronostics s'attache-t-elle à formaliser les facteurs d'aggravation et les facteurs d'atténuation :

- les facteurs de risques ;
- les complications ;
- les appréciations de la gravité de l'association des données cliniques ;
- les traitements ;
- les actes thérapeutiques ;
- les reconsidérations des éléments cliniques et la diminution de leur gravité.

Avant de détailler la formalisation de ces raisonnements en les définissant, les exemplifiant et les formalisant, soulignons que la prise de décision vise à la traduction de données qualitatives en des données pouvant être quantitatives (pourcentages de sur-risque). Par souci de préserver la confidentialité des tarifications pratiquées par cette entreprise nous ne présenterons aucun chiffre. Par contre, nous écrirons les pourcentages sous la forme de variables du type : x%, y% ou z%.

#### 4.2.2.1.1. Les facteurs de risque

##### *Définition*

Un facteur de risque est une condition prédisposant à l'apparition ou à l'entretien d'une pathologie. Il permet d'établir la liaison en terme d'associations significatives entre plusieurs pathologies. Il mesure l'exposition au risque. C'est une potentialité d'expression d'une maladie.

##### *Exemple*

Dans un dossier d'un client, nous avons par exemple la présence de deux maladies cardio-vasculaires : un antécédent d'infarctus du myocarde et une hypertension artérielle. Ces deux maladies ne sont pas identifiées comme isolées par l'expert. Bien au contraire, il dé-

finissent une relation conceptuelle entre elles : facteur de risque. L'hypertension artérielle, et plus généralement le tabagisme ou l'obésité, apparaissent comme des facteurs de risque capables de précipiter ou d'entretenir un nouvel infarctus. L'expert infère ainsi que ce client s'expose aux maladies cardio-vasculaires. Ayant une probabilité de décès plus importante que la moyenne de sa classe d'âge de contracter une nouvelle maladie cardio-vasculaire, le client devra donc payer une sur-prime. En d'autres termes, l'expert anticipe une aggravation de l'état de santé du souscripteur, et fait payer au client cette aggravation.

### ***Formalisation***

Par conséquent, le concept de "facteur de risque" met en relation au moins deux données cliniques où l'une aggrave l'autre en risquant à terme d'impliquer la première. Dans ce cas, l'hypertension est d'une part une maladie comme l'est l'infarctus, et d'autre part un facteur de risque pouvant entraîner ultérieurement un nouvel infarctus. De la sorte, la présence d'une hypertension dans un contexte d'infarctus autorise une inférence engagée sur la base de la relation conceptuelle de "facteur de risque". Dans ce sens, le concept "facteur de risque" comprend des contenus suivants.

- Un contenu sémantique : est facteur de risque toute donnée médicale (donnée clinique ou thérapeutique ou traitement) prédisposant à l'apparition ou à l'entretien d'une pathologie. Notons que des thérapeutiques ou des traitements peuvent être des facteurs de risques : un médicament peut soigner une maladie et en déclencher une autre.
- Un contenu syntaxique : un facteur de risque est une dérivation d'une donnée clinique, ou encore un facteur de risque suit une donnée clinique déclarée.
- Une forme logique : un facteur de risque met en relation une proposition  $p$  définie comme donnée clinique et une proposition  $q$  définie comme donnée médicale. La forme logique de l'affirmation de  $q$  tombe sous le concept de facteur de risque.

Plus précisément, le facteur de risque se formalise ainsi :

- soit une donnée clinique DC diagnostiquée ;
  - soit une donnée médicale DM diagnostiquée (donnée clinique, traitement, thérapeutique, résultats d'examen) ;
- DM est un facteur de risque de DC si et seulement si :
- sémantiquement, DM est une condition de survenue ou d'entretien de DC ;
  - syntaxiquement, DM est une dérivation de DC ;

- logiquement, l'association DM et DC autorise une inférence supplémentaire se traduisant par la forme logique de l'affirmation (l'affirmation de la DM prédispose ou entretient la DC) et entraînant une augmentation du risque. Cet accroissement du risque s'exprime par un pourcentage  $x\%$  s'ajoutant à la tarification de DM et de DC, et résulte de l'affirmation logique de la DM. Sa table de vérité est la suivante.

p : DC	q : DM	q[p] : DC avec le facteur de risque DM
Vrai	Vrai	Vrai
Vrai	Faux	Faux
Faux	Vrai	Vrai
Faux	Faux	Faux

Rappelons qu'en logique propositionnelle, la forme logique de l'affirmation de q (symbolisée  $q[p]$ ) est vraie dans les seuls cas où p et q (symbolisé  $(p \cdot q)$ ) et non p et q (symbolisé  $\sim p \cdot q$ ) sont seuls vraies. En ce sens, le pronostic par facteur de risque nécessite la seule vérité de q pour déclencher une inférence supplémentaire. Pour illustration, il suffit de savoir que le client fume pour déclencher toutes les inférences relatives aux données cliniques qui ont le tabagisme pour facteur de risque. Ainsi, tout se passe comme si l'expert cherchait l'ensemble des solutions où DM et DC sont vraies, et/ou l'ensemble des solutions où DM est seule vraie. Pour ce faire, l'expert dispose d'un concept, en l'occurrence "facteur de risque", lui permettant de restreindre l'espace des solutions et d'attribuer un sur-risque de  $x\%$  à la DM.

La tarification des facteurs de risque n'exclut pas les risques partiels de la DC et de la DM. Bien au contraire, elle les renforce et génère un nouveau risque. L'expert calcule ainsi le risque lié à la DC, à la DM et à la DM prise comme facteur de risque de la DC, puis additionne ces trois risques élémentaires.

#### 4.2.2.1.2. Les complications

##### *Définition*

Une complication est un épisode évolutif de la forme clinique qui aggrave le risque global de l'individu en ajoutant au risque de la pathologie initiale ou principale un risque marginal lié à la complication.

### *Exemple*

Un certain nombre de pathologies peuvent être compliquées par d'autres, ce qui a pour effet d'aggraver l'état de santé et donc le pronostic vital d'un client. La complication constitue donc une forme d'aggravation d'une pathologie. Par exemple, les troubles du rythme consécutifs à un infarctus indiquent des séquelles de cet infarctus et prennent la forme de complications. La complication met de ce fait en relation des données cliniques appartenant à une même affection, en l'occurrence cardio-vasculaire. De l'association de ces données émerge une nouvelle connaissance, qui correspond précisément à leur combinaison. Ainsi, la possibilité de relier des données cliniques par la représentation conceptuelle de la complication autorise une nouvelle inférence qui n'interprète plus les maladies isolément, mais comme appartenant à un même schéma de tarification.

### *Formalisation*

La complication se formalise ainsi :

- soit une donnée clinique DC1 diagnostiquée,
  - soit une donnée clinique DC2 diagnostiquée,
- Où DC1 et DC2 appartiennent à la même catégorie d'affection, DC2 est une complication de DC1 si et seulement si :
- sémantiquement, DC2 est une aggravation physiopathologique de DC1 ;
  - syntaxiquement, DC2 est une dérivation de DC1 qui aggrave DC1 ;
  - logiquement, l'association DC1 et DC2 autorise une inférence supplémentaire se traduisant par la forme logique de la conjonction (DC1 et DC2 à la fois) et entraînant une augmentation du risque. Cet accroissement du risque s'exprime par un pourcentage  $x\%$  englobant la tarification de DC1 compliquée par DC2, et est le fait de la conjonction entre DC1 et DC2. Sa table de vérité s'exprime comme suit.

p : DC1	q : DC2	$p \cdot q$ : DC1 compliquée par DC2
Vrai	Vrai	Vrai
Vrai	Faux	Faux
Faux	Vrai	Faux
Faux	Faux	Faux

La tarification des complications n'exclut pas les risques de la DC1 et de la DC2. Par contre, elle détermine un risque global associé à la DC2, intégrant à la fois le risque de la DC1, de la DC2 et de la

complication. L'expert calcule donc le risque lié à la DC2 pris dans un contexte pathologique où la DC2 est une complication (donc une aggravation supplémentaire) de la DC1. En somme, les risques partiels associés à la DC1 et la DC2 ne sont pas pris en compte, et seul est retenu le risque de leur complication, exprimé en un pourcentage généralement supérieur à l'addition des risques partiels des DC1 et DC2. Par conséquent, à l'inverse du facteur de risque, la complication ne procède pas par addition des risques élémentaires.

En marge de la tarification des complications, résident certaines formes de complications dites additives. En effet, lors de la présentation de cette formalisation, l'expert a souligné que certaines données cliniques étaient des complications d'autres données sans que leurs combinaisons n'entraînent un risque supérieur à celui de leur addition. Une autre forme de complication, les complications additives, ont alors les mêmes contenus sémantique, syntaxique et logique que les complications, sans pour autant avoir les mêmes règles de tarification.

#### 4.2.2.1.3. Les appréciations

##### *Définition*

Une appréciation est la conjonction d'éléments pathologiques d'origine diverses (clinique, examen) qui aggravent une forme clinique particulière. L'appréciation relate un mécanisme physiopathologique reliant deux pathologies dont les rubriques d'affections sont différentes, par exemple affection cardiaque et métabolique.

##### *Exemple*

Dans un dossier où on trouve un antécédent d'infarctus et un diabète, les deux maladies sont appréciées ensemble, alors qu'elles n'appartiennent pas aux mêmes groupes d'affections. Mais le risque médical occasionné par le diabète n'est pas seulement lié aux affections métaboliques, il prend dans le contexte d'un infarctus la signification d'une aggravation potentielle de celui-ci. L'appréciation de données médicales procède donc d'une combinaison de maladies, qui en définitive, s'avère être plus dangereuse pour le client que le cumul des dangers encourus par ces deux maladies prises isolément. Un risque supplémentaire est généré par l'appréciation. Elle se différencie de la complication par sa seule forme sémantique ; les formes logiques et syntaxiques sont totalement identiques. Cet exemple nous indique également que

l'appréciation d'une donnée clinique par une autre entraîne potentiellement des complications de la première ; en effet le diabète permet d'apprécier la gravité de l'infarctus d'une part, et il peut ultérieurement donner lieu à des complications de l'infarctus. On s'aperçoit de cette façon que les complications et les appréciations ont des relations syntaxiques permettant l'enchaînement de ces types de pronostics ; ce que nous détaillerons plus loin.

### **Formalisation**

L'appréciation se formalise ainsi :

- soit une donnée clinique DC diagnostiquée,
- soit une donnée médicale DM (donnée clinique ou traitement ou thérapeutique) diagnostiquée,

où DC et DM n'appartiennent pas à la même catégorie d'affection, DM est une appréciation de DC si et seulement si :

- sémantiquement, DM est une aggravation physiopathologique de DC, sachant que DC et DM n'appartiennent pas aux mêmes affections ;
- syntaxiquement, DM est une dérivation de DC qui aggrave DC ;
- logiquement, l'association DC et DM autorise une inférence supplémentaire se traduisant par la forme logique de la conjonction (DC et DM à la fois) et entraînant une augmentation du risque. Cet accroissement du risque se traduit par un pourcentage  $x\%$  englobant la tarification de DC appréciée par DM, et résulte de la conjonction entre DC et DM. Sa table de vérité prend la forme suivante.

p : DC	q : DM	p•q : DC appréciée par DM
Vrai	Vrai	Vrai
Vrai	Faux	Faux
Faux	Vrai	Faux
Faux	Faux	Faux

La présence d'une forme logique dans un concept a le bénéfice d'autoriser de nouvelles inférences. Ceci dispense l'expert de balayer l'ensemble de l'espace de solutions en cherchant toutes les données cliniques de toutes les affections, mais il établit des relations conceptuelles entre les données cliniques qui interprètent ainsi l'unité pathologique d'un client.

La tarification des appréciations n'exclut pas les risques de la DC et de la DM. Elle permet de définir un risque global associé à la DM, qui intègre à la fois le risque de la DC, de la DM et de l'apprécia-

tion. L'expert calcule donc le risque lié à la DM pris dans un contexte pathologique où la DM est une appréciation (donc une aggravation supplémentaire) de la DC. Ainsi les risques partiels associés à la DC et à la DM ne sont pas pris en compte. Seul est retenu le risque de leur appréciation, exprimé en un pourcentage, généralement supérieur à l'addition des risques partiels des DC et DM. C'est une démarche heuristique qui permet à l'expert de comprendre les interactions entre les données médicales. Par conséquent, tout comme la complication, l'appréciation ne procède par pas addition des risques élémentaires, mais tend à globaliser le risque.

Une critique identique à celle des complications a été faite par l'expert à l'égard des appréciations, à savoir que la tarification de certaines appréciations procède par addition des risques élémentaires des DC et DM. Par conséquent, une autre forme d'appréciation, les appréciations additives ont été dégagées. Ces dernières ont les mêmes contenus sémantique, syntaxique et logique que les appréciations, en ayant une règle de tarification basée sur l'addition des risques élémentaires de la DC et la DM.

#### 4.2.2.1.4. Les actes thérapeutiques

##### *Définition*

Les actes thérapeutiques ou gestes thérapeutiques sont des actions limitées dans le temps destinées à améliorer voire à stabiliser le pronostic d'une pathologie. Ils ont a priori un effet définitif. Sans thérapeutique, il est souvent impossible de tarifier certaines maladies jugées graves.

##### *Exemple*

Dans le cadre d'un entretien visant à explorer le processus de tarification d'un antécédent de cancer du rein, l'intervention chirurgicale est un critère de tarification. Les thérapeutiques ont ainsi un double codage. D'une part, liées à la catégorisation des concepts, elles ont pour fonction de catégoriser les gestes thérapeutiques en fonction des données cliniques. D'autre part, elles représentent un élément pronostic. En effet, en l'absence d'une intervention chirurgicale d'ablation d'un rein cancéreux, un client est inassurable. D'une manière générale, la présence d'un cancer localisé au niveau d'un organe laisse augurer une généralisation de ce cancer et donc le décès de l'individu. Aussi, la connaissance de la thérapeutique associée à

une maladie, permet à l'expert d'identifier précisément la maladie et d'estimer le pronostic vital du client. De la sorte, la thérapeutique associée à une maladie possède à la fois une valeur de diagnostic en confirmant la particularité de la maladie, et une valeur de pronostic en établissant les chances de survie de l'individu.

Les thérapeutiques sont toujours spécifiques d'une maladie ou d'un groupe de maladies. Sachant qu'un client a eu une opération sur le rein, l'expert sait forcément que le client a, ou a eu une affection rénale. De même, le seul fait de savoir qu'un souscripteur a été opéré par pontage coronaire, laisse entendre la présence d'un infarctus du myocarde. Ainsi, les thérapeutiques permettent de confirmer des diagnostics effectués par l'équipe soignante et d'évaluer le pronostic lié au protocole thérapeutique. Les thérapeutiques possèdent systématiquement ce double potentiel de signification.

En somme, la connaissance d'une thérapeutique est la plupart du temps suffisante pour savoir de quelle maladie le client a été atteint. En d'autres termes, l'affirmation de la thérapeutique autorise des inférences sur les données cliniques du souscripteur.

### ***Formalisation***

L'activité de pronostic basée sur les thérapeutiques se formalise ainsi :

- soit une donnée clinique DC diagnostiquée ou une classe de données cliniques,
- soit une thérapeutique Th subie par le client,

Th est une thérapeutique de DC si et seulement si :

- sémantiquement, Th est une atténuation physio- ou anatomopathologique de DC ;
- syntaxiquement, Th est une dérivation de la DC qui atténue les effets de la DC, elle suit toujours l'apparition d'une donnée clinique ;
- logiquement, l'association DC et Th autorise une inférence supplémentaire se traduisant par la forme logique de l'affirmation de Th (peu importe les conditions de vérité de la DC, si la Th est affirmée, elle laisse entendre qu'une DC est à l'origine de la Th) et entraînant une atténuation de l'état de santé du client. L'évaluation du risque se traduit par un pourcentage  $x\%$  englobant la tarification de la DC et de la Th, et est le fait de l'affirmation logique de la Th. Sa table de vérité est la suivante :

p: DC	q : Th	q[p] : DC suivie par Th
Vrai	Vrai	Vrai
Vrai	Faux	Faux
Faux	Vrai	Vrai
Faux	Faux	Faux

#### 4.2.2.1.5. Les traitements en cours

##### *Définition*

Ils correspondent à l'utilisation d'un ou de plusieurs médicaments dans le but d'améliorer ou de stabiliser une pathologie. L'arrêt d'un traitement expose généralement le client à un risque. Un traitement ne possède donc pas d'effet définitif, à l'inverse des actes thérapeutiques. De même un traitement peut simultanément soigner une pathologie et exposer le client à un risque concernant une autre pathologie ; c'est l'exemple bien connu des corticoïdes. Dans ce cas, le traitement devient un facteur de risque d'une donnée clinique.

##### *Exemple*

Une fois une maladie diagnostiquée, un médecin prescrit généralement un traitement afin de faire disparaître ou de diminuer les effets nocifs de la maladie. Dans le cas d'un antécédent d'infarctus, les malades suivent généralement des traitements fluidifiant le sang, à base d'héparine, comme la calciparine.

Grosso modo, les traitements sont interprétés de la même façon que les thérapeutiques.

##### *Formalisation*

L'activité de pronostic basée sur les traitements se formalise ainsi :

- soit une donnée clinique DC diagnostiquée ou une classe de données cliniques,
- soit un traitement Tt suivi par le client,

Tt est un traitement de DC si et seulement si :

- sémantiquement, Tt est une atténuation physio- ou anatomopathologique de DC ;
- syntaxiquement, Tt est une dérivation de DC qui atténue les effets de la DC, un traitement suit toujours l'apparition d'une donnée clinique ;
- logiquement, l'association DC et Tt autorise une inférence supplémentaire se traduisant par la forme logique de l'affirmation de Tt (peu importe les conditions de vérité de la

DC, si la Tt est affirmée, elle laisse entendre qu'une DC est à l'origine du traitement Tt suivi par le client) et entraînant une atténuation du risque. Cette évaluation du risque se traduit par un pourcentage x% englobant la tarification de DC et de la Tt, et est le fait de l'affirmation logique de la Tt. Sa table de vérité est identique à celle du pronostic basé sur les thérapeutiques :

p : DC	q : Tt	q(p) : DC suivie par Tt
Vrai	Vrai	Vrai
Vrai	Faux	Faux
Faux	Vrai	Vrai
Faux	Faux	Faux

#### 4.2.2.1.6. Les reconsidérations

##### *Définition*

Il s'agit d'une modification de la sanction de tarification en fonction de certains critères médicaux. Une reconsidération va généralement dans le sens d'une diminution du risque.

##### *Exemple*

De nombreuses données cliniques ne sont pas forcément graves. Par exemple la bradycardie chez un sportif est tout à fait naturelle et n'entraîne aucun risque supplémentaire. Par conséquent, dans le cas d'un sujet sportif le risque associé à la bradycardie est reconsidéré.

##### *Formalisation*

L'activité de pronostic basée sur les reconsidérations se formalise ainsi :

- soit une donnée clinique DC diagnostiquée,
  - soit une donnée médicale DM diagnostiquée,
- DM est une reconsidération de DC si et seulement si :
- sémantiquement, DM est une atténuation physio- ou anatomo-pathologique de DC, qui considère que la DC est à risque amoindri, voire sans risque ;
  - syntaxiquement, DM est une dérivation de DC qui atténue les effets de la DC ;
  - logiquement, l'association DC et DM autorise une inférence supplémentaire se traduisant par la forme logique de la non-conditionnelle (Si DM vrai alors DC faux, symbolisée  $(p \sim q)$ ) et entraînant une atténuation du risque engendré par la DC. Le risque de la DC est alors considérablement réduit et peut même

être nul. La table de vérité de la reconsidération est la suivante :

p : DC	q : DM	(p~q) : DC reconsidérée par DM
Vrai	Vrai	Faux
Vrai	Faux	Vrai
Faux	Vrai	Faux
Faux	Faux	Faux

En résumé, nos résultats nous amènent à considérer qu'un raisonnement de pronostic est une adresse mnémonique ayant les fonctions d'enregistrement et de rappel des connaissances et autorisant un certain nombre d'inférences. Ces considérations nous ont conduit à effectuer une lecture des raisonnements de l'expert en fonction de leurs composants sémantiques, logiques et syntaxiques. A présent, nous allons voir que ces raisonnements peuvent être désignés par le terme d'opérateur cognitif.

## 4.2.2.2. La notion d'opérateur cognitif

### 4.2.2.2.1. Les six opérateurs cognitifs de l'expertise

Pour pronostiquer l'évolution clinique d'un client, l'expert dispose ainsi de six opérateurs -facteur de risque, complication, appréciation, thérapeutique, traitement, reconsidération- ayant des contenus sémantiques, syntaxiques et logiques. Nous désignerons par **opérateurs cognitifs ces transformateurs de la signification d'une donnée médicale en une autre signification**. Cette transformation de la signification s'effectue soit par :

- **la modification de la forme** : une donnée clinique est toujours une maladie en soi ; dans le contexte de la survenue d'une maladie qui la précède, cette donnée clinique peut prendre du coup la forme d'une complication ou d'une appréciation ;
- **la substitution du contenu** : pour illustration, un médicament est toujours un traitement, cependant dans un contexte pathologique particulier, il peut devenir un facteur de risque, et alors le médicament n'est plus un soin mais un facteur d'apparition d'une maladie ;
- **le changement de la vérité** : par exemple, la reconsidération d'une donnée clinique par une donnée médicale supprime la vérité de la donnée clinique.

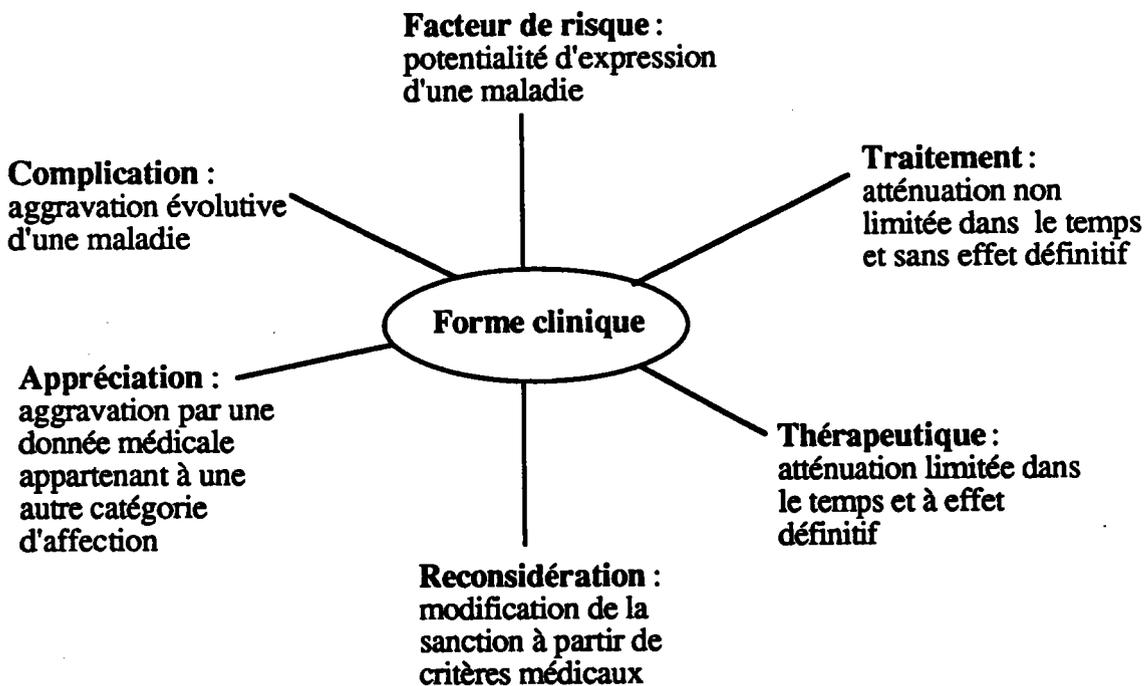
Ces opérateurs cognitifs sont des énoncés ni vrai ni faux au départ de la tarification d'un dossier, mais susceptibles d'acquérir une valeur de vérité ou de fausseté selon la détermination des propositions

rédigées dans le dossier médical. Ces propositions sont vraies ou fausses, ou encore présentes ou absentes du dossier, et c'est à ce titre qu'elles interviennent dans la prise de décision. En fait, les opérateurs sont d'abord des énoncés ayant un statut de connaissances compilées. Ils représentent en quelque sorte des macro-descriptions des processus cognitifs, et peuvent être analysés selon un canevas à trois éléments : contenu sémantique, forme logique et contenu syntaxique.

### *Le contenu sémantique*

Un opérateur a un contenu sémantique qui confère une signification nouvelle à une donnée médicale. Il est possible qu'il soit un facteur aggravant ou atténuant l'état pathologique du client. Globalement, les opérateurs se différencient sémantiquement par les contenus présentés dans la figure 20.

Figure 20. Contenus sémantiques des opérateurs cognitifs activables à partir d'une forme clinique.



### *La forme logique*

Un opérateur cognitif possède également une forme logique qui permet à l'expert de relier les entités manipulées, comme le rappellent les figures 21 et 22.

Figure 21. Tableau récapitulatif des formes logiques des opérateurs cognitifs et de leurs conditions de vérité.

Opérateurs		Facteur de risque	Complication	Appréciation	Thérapeutique	Traitement	Reconsidération
Formes logiques		Affirmation de q	Conjonction	Conjonction	Affirmation de q	Affirmation de q	Non-conditionnelle
p	q	q[p]	(p∧q)	(p∧q)	q[p]	q[p]	(p∧¬q)
V	V	V	V	V	V	V	F
V	F	F	F	F	F	F	V
F	V	V	F	F	V	V	F
F	F	F	F	F	F	F	F

Il est possible de réécrire le tableau précédent en y remplaçant les valeurs de vérité par les résultats des opérateurs, et de fausseté par des tirets. Dès lors, on obtient la figure 21.

Figure 22. Tableau récapitulatif des formes logiques des opérateurs cognitifs et de leurs résultats.

Opérateurs		Facteur de risque	Complication	Appréciation	Thérapeutique	Traitement	Reconsidération
Formes logiques		Affirmation de q	Conjonction	Conjonction	Affirmation de q	Affirmation de q	Non-conditionnelle
p	q	q[p]	(p∧q)	(p∧q)	q[p]	q[p]	(p∧¬q)
p	q	pq	pq	pq	pq	pq	-
p	¬q	-	-	-	-	-	p¬q
¬p	q	¬pq	-	-	¬pq	¬pq	-
¬p	¬q	-	-	-	-	-	-

Par conséquent, n'apparaissent que les résultats des opérateurs aggravant potentiellement un état de santé, c'est-à-dire précisément ce que l'expert recherche dans un dossier médical. Ce tableau met en évidence l'ensemble des possibilités d'inférences logiques qui permettent de déclencher des hypothèses sur les conditions de surprime d'un dossier médical. Autrement dit, la forme logique des opérateurs cognitifs ajuste d'une façon simple les prémisses aux conclusions possibles. En ce sens, l'acceptation des formes logiques n'est pas s'en rappeler, dans un autre registre, la forme logique des actes de discours de Vanderveken (1988), lorsqu'il fait remarquer que : "les opérations logiques sur les forces illocutoires sont réductibles à un petit nombre d'opérations très simples sur les composantes de ces forces, comme l'ajout de nouvelles composantes ou l'augmentation du degré de puissance."

A propos des formes logiques des opérateurs cognitifs, quatre remarques s'imposent.

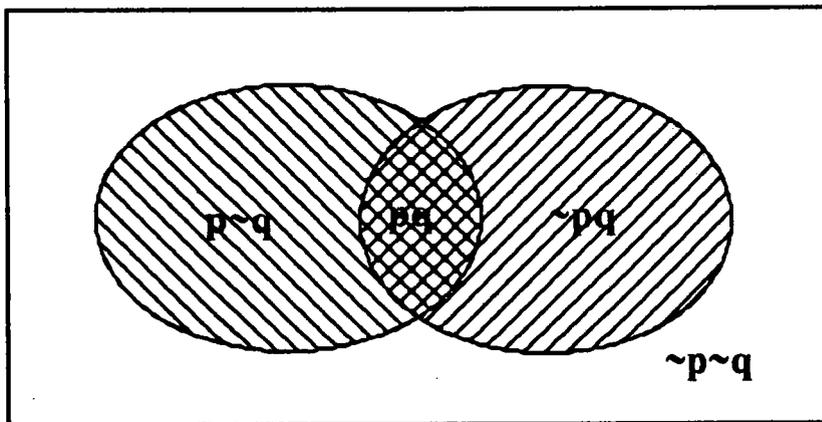
**Les opérateurs permettent d'éliminer les propositions fausses.**

Premièrement, le faux n'intéresse pas l'expert. La fausseté des associations de données médicales ne conduit qu'à une élimination des propositions sans autoriser d'inférences supplémentaires. Or, si la démarche heuristique vise bel et bien à la détermination de nouvelles connaissances, il faut alors admettre qu'elle ne peut pas procéder par des regroupements de connaissances estimées fausses. De ce fait, la prise de décision passe forcément par la recherche des connaissances estimées vraies.

**Les valeurs de vérité conditionnent le déclenchement des inférences.**

Deuxièmement, les valeurs de vérité sont jugées pertinentes. Ce sont elles qui déclenchent des processus inférentiels. Afin de déterminer les associations de pathologies significatives au sens de la tarification, l'expert dispose et/ou se construit des opérateurs qui guident l'élaboration de sa prise de décision. Tout se passe comme si l'expert devait chercher une conclusion dans un espace des solutions où il ne s'intéresserait qu'à trois types de valeurs de vérité :  $pq$ ,  $\sim pq$  et  $p\sim q$  ; valeurs déterminables sur la base de la combinaison de six opérateurs (figure 23).

Figure 23. L'espace logique des solutions.



- Où
- $pq$  : recherche de l'affirmation de  $q$  et de la conjonction, ou encore des opérateurs de complication, d'appréciation, de facteur de risque, de thérapeutique et de traitement.
  - $\sim pq$  : recherche de l'affirmation de  $q$ , ou encore des opérateurs de facteur de risque, de thérapeutique et de traitement.
  - $p\sim q$  : recherche de la non-conditionnelle ou de son opérateur, à savoir la reconsidération.
  - $\sim p\sim q$  : aucune recherche possible (pourquoi rechercher des informations jugées fausses ?)

Les opérateurs ont ainsi pour principal avantage de réduire l'espace de résolution du problème et de permettre une "navigation" au sein de cet espace. En disposant de concepts, ou plutôt d'opérateurs cognitifs dans lesquels résident des formes logiques, l'expert

n'envisage pas la tarification comme l'exercice d'une explosion combinatoire qui viserait à dénombrer l'ensemble des combinaisons possibles de toutes les données médicales d'un dossier. Il ne déclenche que les inférences en rapport avec le contexte du dossier médical qu'il traite.

*Le clivage entre les connaissances statiques et dynamiques est arbitraire.*

Troisièmement, la distinction entre les connaissances statiques et dynamiques avancée par KADS ou KOD est arbitraire. En effet, il n'y a pas toujours d'un côté des concepts et d'un autre côté des formes logiques manipulant ces concepts. Les opérateurs, bien qu'étant des données abstraites, nous indiquent que des formes logiques peuvent tomber sous des concepts. A l'inverse des règles de production, la forme logique est incluse dans le concept, et ce n'est pas le concept qui est manipulé par une implication logique. Dans le cas d'une maladie "p" compliquant une maladie "q" se trouve la forme logique (p·q). Dans le contexte donné de la déclaration de la maladie "q", la présence de la maladie "p" autorise une inférence supplémentaire correspondant à une implication contextuelle. Une implication contextuelle d'une énonciation (Sperber et Wilson, 1986) est une implication logique non triviale et dérivable à partir du contexte et du contenu. Ainsi, le processus de tarification ne semble pas déterminé par une logique qui lui serait externe, à l'instar des règles de production, mais par les potentialités inférentielles des formes logiques résidant dans les opérateurs. En effet, les opérateurs cognitifs guident les cheminements de pensée et servent à dresser des relations entre les divers concepts manipulés. En d'autres termes, lorsqu'il y a sous une proposition activée dans la tête de l'expert une forme logique du type "p et q", la présence de la proposition et ses possibilités d'inférences donnent plus de pertinence. Néanmoins, le fait que l'expert ait une forme logique disponible dans le raisonnement qu'il suit, ne suffit pas pour expliquer qu'il utilise cette même forme logique. Mais, il se trouve que le schéma qu'il active repose sur des propositions qui incluent une forme logique autorisant des inférences supplémentaires. Ainsi, la disponibilité d'une forme logique résidant dans un concept est sans doute une condition nécessaire, mais non suffisante, permettant l'élaboration de la prise de décision. Par conséquent, l'expert n'envisage pas d'explorer la totalité de l'espace des solutions. Il utilise une ou plusieurs implications contextuelles qui guident sa décision. Lorsque les implications contextuelles manquent, c'est-à-dire si elles ne sont pas jointes au dossier médical (ce qui est quasiment toujours le cas, puisque c'est à l'expert de faire ce travail), l'expert peut les dériver en manipulant les six opérateurs cognitifs. Dans ce cas, les implications contextuelles générées par l'activation et la manipulation des opérateurs se

définissent comme des inférences non spécifiquement voulues par le médecin examinateur, mais que l'expert peut construire à partir de l'ensemble des énoncés du rapport médical.

Enfin quatrièmement, il ne s'agit pas de reproduire l'expertise par la seule formalisation des six opérateurs cognitifs. Ces derniers caractérisent uniquement des modes de raisonnements dominants que nous avons pu identifier dans les entretiens et valider auprès de l'expert. Rien, ne nous garantit l'exhaustivité, la complétude ou l'universalité de la formalisation.

### *Le contenu syntaxique*

*Les opérateurs cognitifs se combinent selon une syntaxe.*

Les opérateurs ont une certaine syntaxe. Par exemple, une complication a une syntaxe qui lui donne la possibilité de succéder à une proposition et d'en anticiper une autre. Une complication est forcément une complication de quelque chose, et n'existe qu'en relation avec cela. De même, une thérapeutique ne peut succéder qu'à une forme clinique déclarée. Par conséquent, les opérateurs autorisent ou interdisent des inférences. D'un point de vue syntaxique, une proposition p est une inférence de la proposition q si et seulement si dans un contexte donné, la proposition q peut être déduite et/ou induite de p, en appliquant les règles inférentielles du dispositif cognitif, à savoir les six opérateurs. Cette syntaxe des inférences est déclinée dans le tableau suivant rempli par l'expert.

Tableau de la syntaxe des opérateurs cognitifs.

Peut être suivi de	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Forme clinique	N	O	O	O	O	O	O	O
2	Facteur de risque	N	N	N	N	N	N	N	N
3	Complication	N	O	O	O	O	O	O	O
4	Complication additive	N	O	O	O	O	O	O	O
5	Appréciation	N	O	O	O	O	O	O	O
6	Appréciation additive	N	O	O	O	O	O	O	O
7	Reconsidération	N	N	O	O	O	O	N	N
8	Traitements en cours	N	N	N	N	N	N	N	O
9	Thérapeutiques	N	N	N	N	N	N	N	O

N = non, ne peut pas être suivi de...

O = oui, peut être suivi de...

Ce tableau représente les enchaînements possibles d'opérateurs. La propriété syntaxique des opérateurs est donc d'ouvrir ou de fermer des combinaisons d'opérateurs, ou encore d'autoriser ou d'interdire des inférences. Les opérateurs ont alors aussi la fonction de gérer et

de générer des enchaînements de données médicales, qui structurent de façon la plus exhaustive possible les éléments de la prise de décision. Dans le même temps, les propriétés syntaxiques des opérateurs déterminent des conditions d'arrêt sur les enchaînements pouvant être faits. Par exemple, l'opérateur facteur de risque est susceptible de succéder à une forme clinique, mais le facteur de risque ne peut être suivi d'aucun opérateur. La syntaxe des opérateurs définit ainsi leur antériorité ou postériorité dans le processus de prise de décision. En ce sens, la syntaxe qualifie l'ensemble des enchaînements possibles, à savoir les schémas.

#### 4.2.2.2.2. La notation des opérateurs cognitifs : les schémas d'inférences

Les opérateurs permettent d'élaborer des hypothèses sur l'état de santé du client. Il semble que, sur la base d'informations prélevées dans le dossier médical et d'hypothèses inférées grâce aux opérateurs, l'expert utilise et/ou construisent des schémas mis en oeuvre pour former des hypothèses complémentaires. En effet, les informations des dossiers médicaux possèdent déjà à elles seules, une certaine force. Les hypothèses construites en complétant des schémas d'hypothèses possèdent une certaine plausibilité de départ à même de justifier que l'expert les envisage sérieusement. Dans un contexte approprié, l'activation des schémas peut aboutir à des hypothèses à part entière, voire à une décision.

*Les opérateurs permettent la recherche du maximum de pertinence possible.*

Lorsqu'un opérateur est activé et manipulé, la présence de cet opérateur et ses possibilités d'inférences donnent plus de pertinence. En ce sens, la pertinence est une stratégie cognitive systématique. Répétons nous, l'expert n'a pas besoin d'envisager l'espace logique des solutions. Il dispose d'opérateurs qui guident sa prise de décision. Aussi, il existe des stratégies de recherche de l'information pertinente qui favorisent tout ce qui passe par un opérateur cognitif. En définitive, la recherche de l'aggravation et de l'atténuation passe par la recherche des informations pertinentes qui permettent de construire un schéma de la prise de décision.

#### *Définition des schémas d'inférences*

Nous parlerons ainsi de schémas d'inférences dans le sens où la notion de schéma regroupe des formalisations de structures assimilatrices présentes dans la mémoire du dispositif cognitif et sensible au contexte. Ces schémas permettent de guider la recherche des informations perti-

nentes, d'inférer des informations nouvelles ou manquantes, voire de corriger les informations erronées. Un schéma contient en amont la définition du contexte d'interprétation d'un problème, et en aval les ressources d'interprétation du problème. Selon ce formalisme, la prise de décision est définie comme l'activation d'un schéma adapté à la situation et comme la "particularisation" (Escarabajal, 1988) des paramètres de ce schéma. La particularisation est définie comme un processus qui consiste à attribuer aux paramètres du schéma les informations provenant de la base de faits (c'est-à-dire du dossier médical). En d'autres termes, la particularisation revient à remplir les cases vides du schéma par les informations prélevées par l'individu.

*Les opérateurs permettent la structuration de schémas d'inférences.*

De ce point de vue, tarifier un dossier médical revient à construire un schéma permettant la compréhension des faits, la détermination des inférences autorisables à partir des faits déclenchés, et la comparaison des inférences estimées les plus pertinentes. Les schémas constituent une représentation de la recherche des propositions pertinentes et des contextes qui, d'une part attribuent à une donnée médicale une nouvelle signification, et d'autre part déterminent la décision.

Dans l'élaboration de ces schémas, tout se passe comme si le travail de l'expert consistait en l'exécution de la consigne suivante : "détecter les données médicales et leurs combinaisons, qui aggravent et/ou atténuent la tarification d'un dossier médical". De plus, l'expert doit aussi "flairer", comme il le dit, les risques de fraude à l'assurance-vie et donc détecter le client tricheur. Ceci correspond à l'utilisation d'un schéma d'inférences où il existe une relation étroite entre les données et les intentions de celui qui les interprète. Dans ce sens, décider, c'est suivre des règles construites, contrôlées et gérées dans l'exercice du métier. En tenant compte des traits pertinents du dossier médical disponibles grâce aux opérateurs, l'expert détermine le contexte d'interprétation du dossier. Ce dernier est un déterminant des propositions qui lui sont associées, et des valeurs de vérité de ces propositions ; il est représentable dans un schéma.

*Les schémas d'inférences ont six propriétés.*

La notion de schéma d'inférences a plusieurs fonctions ou propriétés, notamment :

- (a) expliciter la manière dont les valeurs de vérité dépendent du contexte produit par les associations de données cliniques : si une connaissance d'un dossier médical se réfère à un schéma alors le dispositif cognitif vérifie si la connaissance est tenue

pour vraie dans ce schéma. De cette façon, lorsqu'une forme logique tombe sous un opérateur ayant une certaine saillance dans la situation, ce qui est le cas dans les situations des schémas d'inférences, le fait que l'expert possède le concept ne suffit pas pour expliquer qu'il s'en sert dans son raisonnement. Mais il se trouve que la solution qu'il cherche réside dans un schéma dépendant d'une configuration de contenus sémantiques, logiques et syntaxiques.

- (b) exprimer les connexions existant entre diverses données médicales qui sont reliées au sein d'un réseau où les noeuds sont des opérateurs ;
- (c) prédire les performances du dispositif cognitif (système expert ou expert humain) ;
- (d) intégrer de nouvelles connaissances : si une connaissance se réfère à plusieurs schémas, alors le dispositif cognitif doit intégrer cette connaissance soit par la construction d'un nouveau schéma, soit par la sélection du schéma le plus pertinent ;
- (e) adapter les connaissances à d'éventuelles nouvelles données sur la tarification (apparition de nouvelles maladies, de nouveaux traitements...) ;
- (f) intégrer des concepts et des raisonnements. Ils sont une forme structurée de connaissances, une connaissance se référant toujours à au moins un schéma.

La notion de schéma et ses propriétés étant définies, indiquons comment ils se structurent, c'est-à-dire comment les opérateurs déterminent des cheminements, partant d'une forme clinique pour aboutir à une décision.

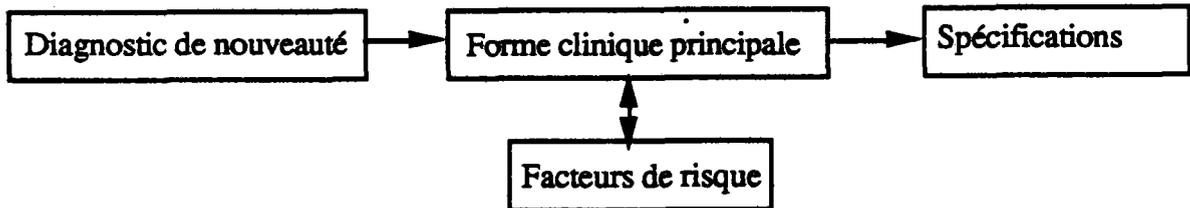
### *La structuration des schémas d'inférences*

En tarification, le pronostic est au centre de la prise de décision médicale. Il s'agit en fait d'un "diagnostic de l'espérance de vie du client", basé sur des critères provenant d'un diagnostic médical. De ce fait, les concepts manipulés par l'expert sont combinés entre eux selon une logique de la gravité qui repose sur des opérateurs mis en évidence dans les interactions experts-cogniticiens. Dans cette perspective, l'expert a été mis à contribution pour décliner les structurations possibles des schémas. La structuration des schémas part de la description d'une forme clinique et évolue vers la description des facteurs d'aggravation et d'atténuation de cette maladie.

La description d'une maladie (figure 24) peut être faite sur la base de données déclarées dans le dossier médical. Elle peut également

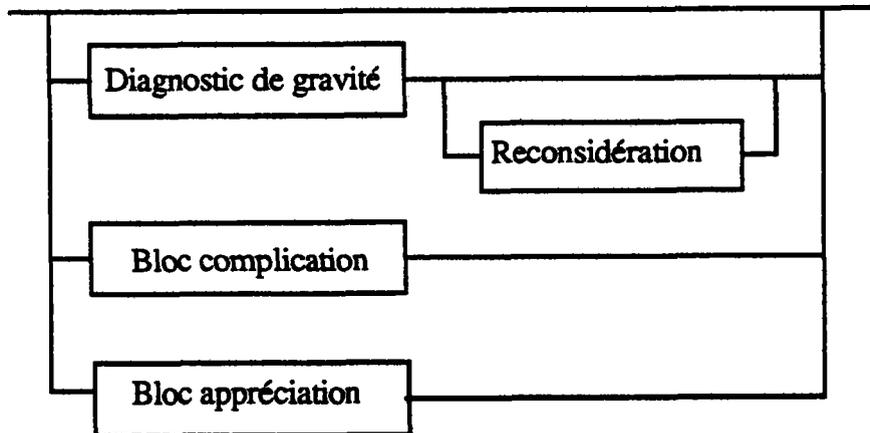
provenir d'un diagnostic de nouveauté, qui a détecté la présence d'une maladie à partir de résultats d'examens. De plus, une maladie est en mesure d'apparaître ou d'être entretenue à cause de facteurs de risque, qui tôt ou tard l'aggraveront.

Figure 24. Eléments de description d'une maladie.



Plus compliquée est la description des schémas conduisant à l'aggravation d'une forme clinique. Cette dernière fait intervenir des complications, des appréciations, et une évaluation de la gravité de la maladie par un diagnostic de gravité, et peut, le cas échéant être reconsidérée (figure 25).

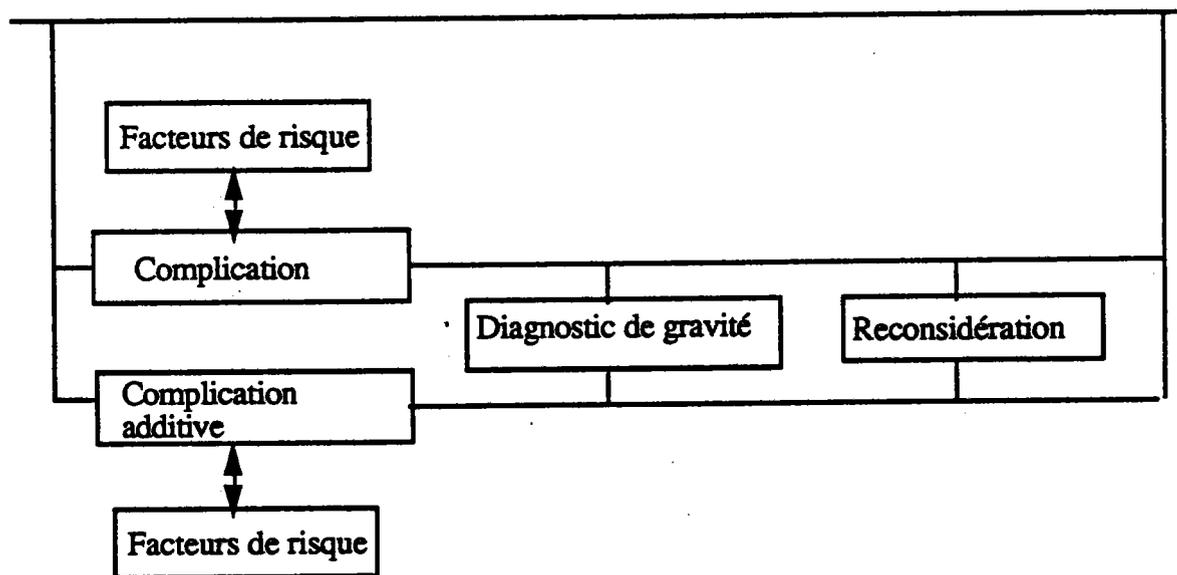
Figure 25. Eléments de description de l'aggravation.



A la tarification des éléments du bloc de complication (figure 26) d'un dossier, peuvent être associés des facteurs de risque, des diagnostics de gravité et d'éventuelles reconsidérations. Notons que des facteurs de risques sont potentiellement cumulables. Par exemple, un facteur de risque de l'infarctus est l'hypertension artérielle ; une complication d'un infarctus est un anévrisme de l'aorte. Médicalement, l'anévrisme de l'aorte est une excroissance de la parois externe de l'artère aortique. Comme on s'en doute, une hypertension artérielle risque tôt ou tard de provoquer une rupture de

l'aorte et donc une hémorragie. Par conséquent, dans ce cas précis, l'hypertension artérielle est un facteur de risque de l'infarctus et de sa complication, l'anévrisme de l'aorte.

Figure 26. Eléments de description du bloc complication.



Quant au bloc appréciation (figure 27), son évaluation procède de manière totalement identique à celle de la complication. Rappelons qu'appréciation et complication ne se différencient que du point de vue sémantique.

Enfin, la description de l'atténuation (figure 28) fait intervenir les opérateurs de thérapeutique et de traitement, qui eux mêmes sont susceptibles d'être aggravés et reconsidérés par d'autres données médicales.

En somme, les inférences ont pour origine une donnée clinique dont l'association éventuelle avec les six opérateurs permet de définir une décision de tarification. Aussi, l'activation d'un opérateur détermine une décision quantitative (pourcentage de sur-risque) ou qualitative (condition normale, ajournement, refus ou impossibilité de tarifer). Autrement dit, à chaque noeud du schéma se trouve une conclusion.

Figure 27. Eléments de description du bloc appréciation.

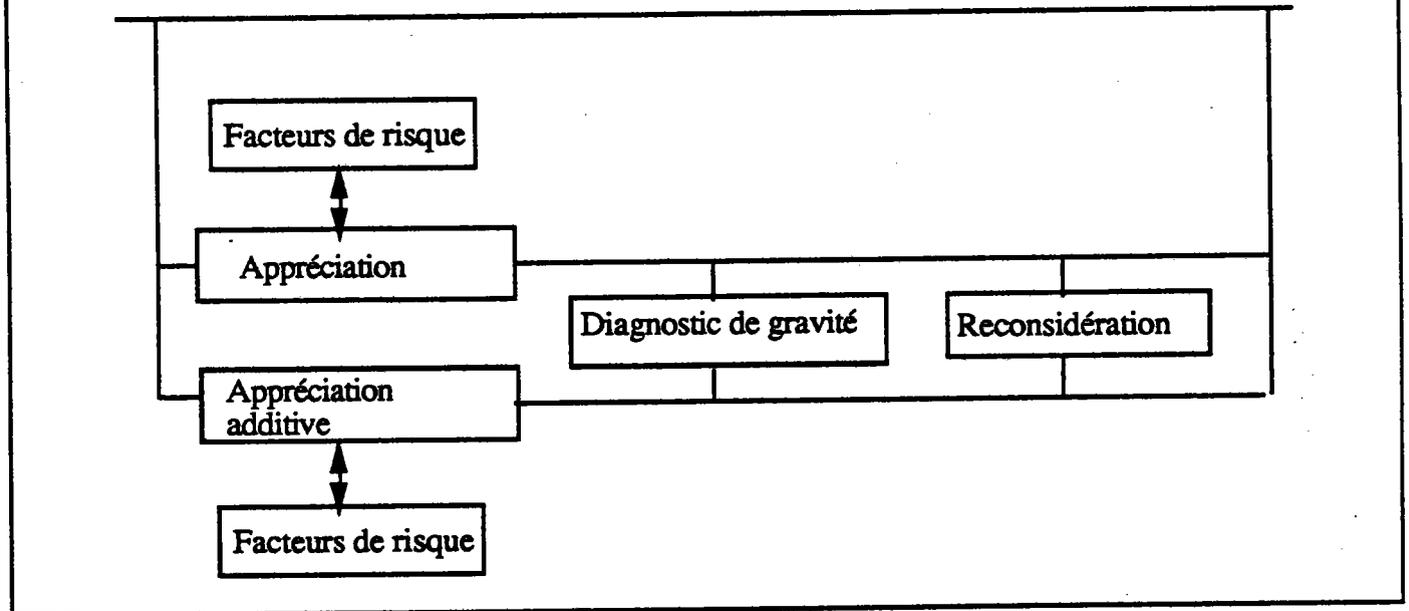
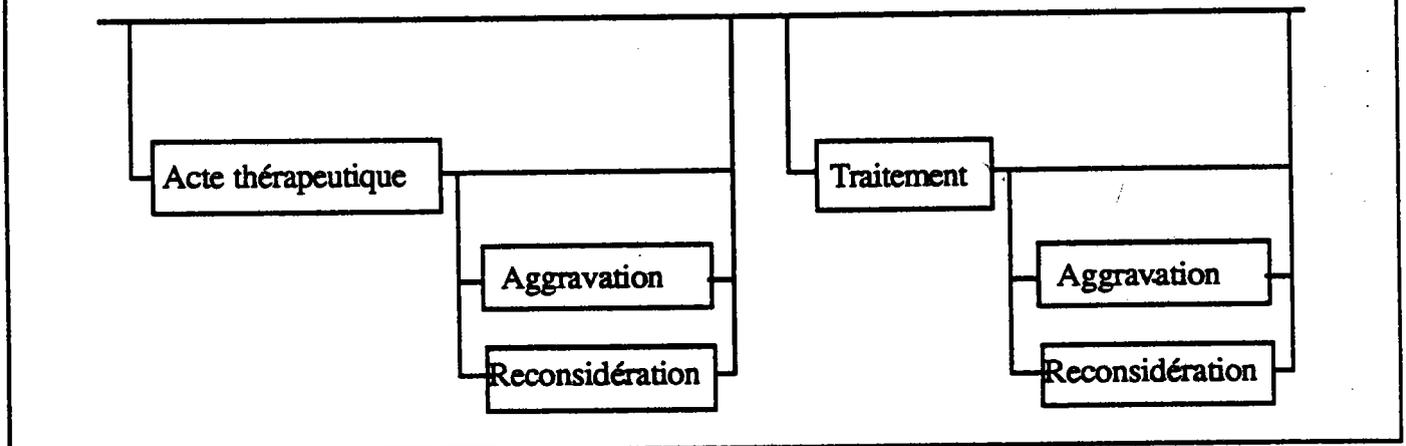


Figure 28. Eléments de description de l'atténuation.



Les schémas d'inférences constituent ainsi une forme structurée d'agencement d'opérateurs cognitifs, de prémisses et de décisions. Nous les avons représentés, ci-dessous, sous une forme graphique. Le système de notation met ainsi en évidence les possibilités inférentielles du dispositif cognitif en indiquant en filigrane les valeurs de certitude et de plausibilité des inférences.

### *La notation des schémas d'inférences*

*Les schémas d'inférences sont notés sous une forme graphique.*

Le raisonnement de l'expert peut donc être formalisé sous la forme d'un schéma d'inférences où la recherche de la pertinence est constante. Aussi, nous avons opté pour une représentation des connaissances à base de graphes qui s'est avérée bien acceptée par l'expert. Il apparaît que les formalismes graphiques comprennent plusieurs avantages que n'offrent pas les règles de production (Nassiet, 1987). Ils favorisent notamment une compatibilité optimale entre la représentation des connaissances en machine et les schémas de l'expert. En effet, :

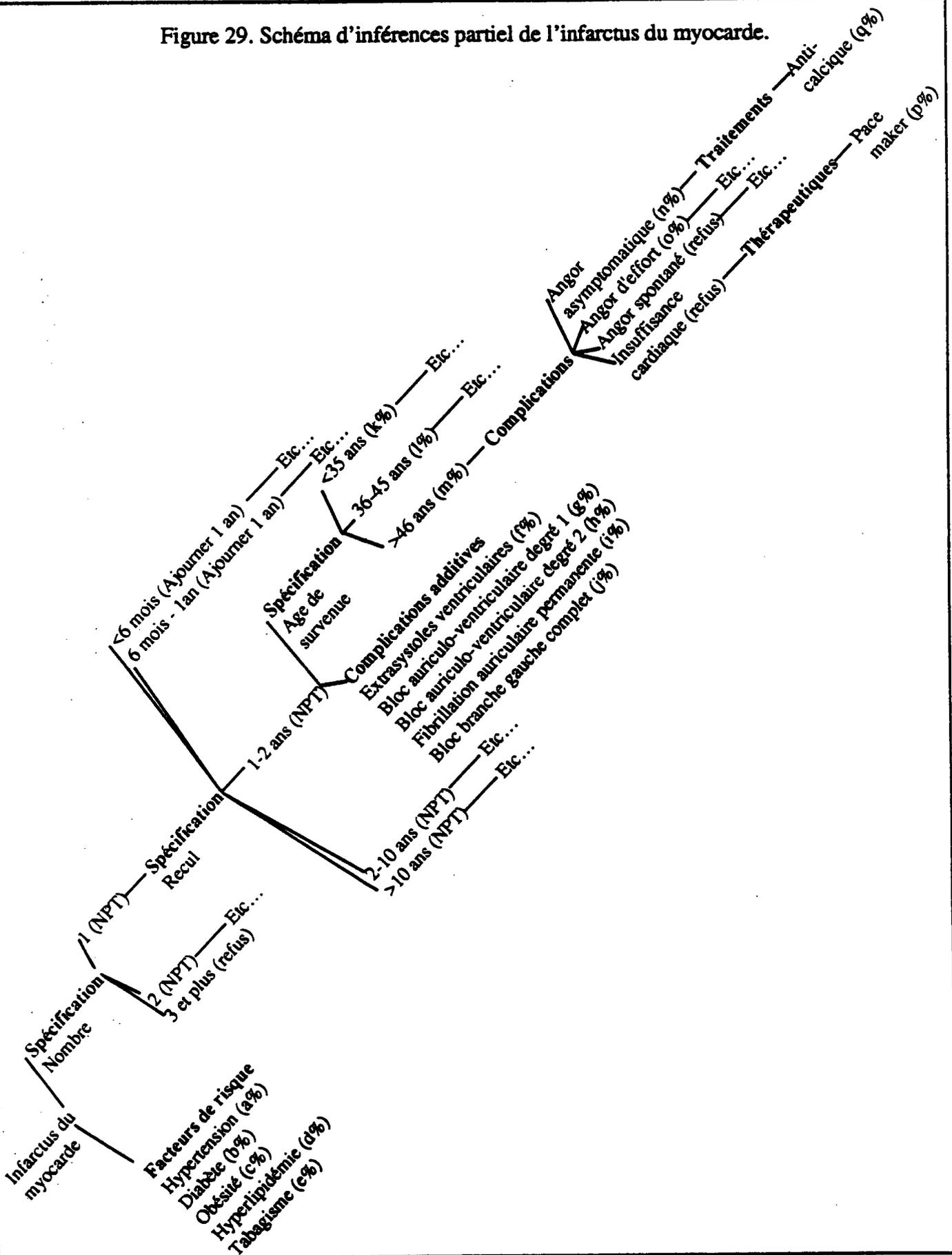
- ils facilitent une focalisation d'attention chez l'expert : vision globale et vision locale des connaissances ;
- ils ont un grand pouvoir de décomposition et de structuration des connaissances ;
- ils représentent à la fois les connaissances et les raisonnements ;
- ils représentent la totalité des connaissances dans un espace de données et toutes leurs ramifications ;
- ils explicitent clairement les raisonnements ;
- ils forcent, par leur côté exhaustif, l'exploration de branches de raisonnements inconnues de l'expert ;
- ils constituent une connaissance structurée qui s'oppose au "vrac" des règles de production ;
- ils forment une représentation dynamique, facilement contrôlable et modifiable.

En définitive, la connaissance a été formalisée sous la forme de graphes ayant pour racine des données médicales et pour branches d'autres données médicales, les noeuds des branches correspondant à des opérateurs cognitifs. De plus, à chaque donnée médicale est associée une décision de tarification. C'est ce que nous allons illustrer par l'exemple de l'infarctus du myocarde.

La figure 29 illustre une partie du schéma de l'infarctus du myocarde. Il se lit de gauche à droite. Le point de départ est l'infarctus spécifié par :

- le nombre d'infarctus du client (un, deux ou plus) ;
- le recul entre l'infarctus et la date de souscription du contrat d'assurance (moins de six mois, de six mois à un an, de un à deux ans, de deux à dix ans et plus de dix ans) ;
- et l'âge de survenue de l'infarctus (moins de 35 ans, de 36 à 45 ans et plus de 46 ans).

Figure 29. Schéma d'inférences partiel de l'infarctus du myocarde.



Ces spécifications définissent le contexte minimal de tarification d'un infarctus. Sans elles, l'infarctus n'est pas tarifiable ; les conclusions de tarifications sont alors NPT (ne pas tarifer). Suite à ces spécifications, l'infarctus est tarifé en fonction de ses complications, traitements et thérapeutiques. Par exemple, supposons un client ayant eu un infarctus il y a 18 mois alors qu'il avait 47 ans. Sans autre donnée, ce client sera tarifé  $m\%$ . Si en plus, ce client fume plus de 20 cigarettes par jour et a un rapport poids/taille dysharmonieux, le système diagnostiquera qu'il est tabagique et obèse, en conséquence sa tarification se portera à :  $c\% + e\% + m\%$ . De surcroît, s'il a une insuffisance cardiaque, le dispositif infèrera alors, que cette insuffisance est une complication de son infarctus et proposera une décision de refus, sauf s'il a un pace maker, qui sera alors identifié comme une thérapeutique de son insuffisance cardiaque. Dans ce cas aggravé, la tarification sera celle associée au pace maker soit  $p\%$  additionnée des facteurs de risques d'obésité et de tabagisme, soit un total de  $p\% + c\% + e\%$ . En somme, les décisions élémentaires liées à l'infarctus et à l'insuffisance cardiaque sont intégrées à celles de la thérapeutique, qui englobe les autres.

Ainsi, le schéma a une double lecture. Premièrement, de gauche à droite, il autorise des inférences supplémentaires, qui ont une valeur de certitude ; le schéma permet de relier les éléments du dossier selon une logique médicale. Secondement, de droite à gauche il autorise des inférences qui n'ont qu'une valeur de plausibilité. Pour illustration, dans notre exemple il ne suffit pas d'avoir un pace-maker pour être certain que le client a eu un infarctus, mais c'est plausible. Inversement, si le client a contracté un infarctus, une insuffisance cardiaque et a un pace maker, alors il est certain que son infarctus constitue une forme clinique principale de son profil pathologique, qui a été compliquée par une insuffisance cardiaque et soignée par un pace maker. Autrement dit, d'une façon générale, une proposition est valide ou certaine si et seulement si les prémisses de l'opérateur ont la conclusion comme conséquence nécessaire, c'est-à-dire si et seulement si la conclusion est vraie dès lors que les prémisses le sont. Réciproquement, une proposition est plausible si et seulement si les conclusions de l'opérateur ont les prémisses comme cause possible de la proposition.

Ainsi, les schémas intègrent des possibilités inférentielles valides et plausibles, dont le mécanisme est étayé dans le paragraphe suivant.

## 4.2.2.2.3.

**Le mécanisme d'inférence dans les schémas d'inférences : la pertinence**

*Le moteur d'inférences du système cognitif repose sur la théorie de la pertinence.*

Lorsqu'on active un schéma par les connaissances d'un dossier médical (ou d'une base de faits), le dispositif cognitif calcule directement et automatiquement, dans les limites de ses capacités de mémoire, l'ensemble complet des inférences "non-triviales" (selon les termes de Sperber et Wilson, 1986) définies par les opérateurs cognitifs dont il dispose. Ainsi, la présence d'une donnée médicale particulière, et les relations qu'elle peut entretenir avec une autre - relations médiatisées par des opérateurs- autorisent un certain nombre d'inférences qui s'attachent à estimer la gravité potentielle de cette même donnée. La prise de décision s'effectuant, répétons-le, à partir des informations estimées pertinentes, il s'agit de concevoir un moteur d'inférences capable de simuler la recherche de la pertinence maximale. Dans ce sens, **une conclusion est déclarée plus pertinente qu'une autre si elle autorise plus d'inférences.** Ou, comme le soulignent Sperber et Wilson : "la pertinence d'une information nouvelle pour un individu dépend de la façon dont cette information contribue à améliorer la représentation que cet individu se fait du monde." La pertinence s'exprime donc par toutes les connaissances supplémentaires qu'un dispositif cognitif peut inférer de ses hypothèses de départ. Elle apparaît ainsi comme un mécanisme d'activation des schémas (c'est-à-dire de parcours des graphes) sous réserve d'arriver à formaliser la pertinence sous une forme informatique.

*Compte tenu des informations de la base de faits, le moteur d'inférences cherche à déclencher le plus d'inférences possibles.*

Schématiquement, le moteur d'inférences consiste en un balayage ou parcours d'arbres. Il retient la tarification associée à la ramification du graphe qui contient l'ensemble des noeuds activés, c'est-à-dire au niveau du noeud qui autorise le plus d'inférences, ou encore le chemin le plus long. Son algorithme, largement inspiré par la théorie de la pertinence est du type :

*Si l'ensemble des faits activés constitue dans le schéma d'inférences, un chemin linéaire (il n'y a pas de donnée activable et autorisant une inférence supplémentaire)*  
*Alors retenir la tarification associée à la donnée médicale attachée à l'opérateur cognitif autorisant le plus d'inférences par rapport à l'évaluation de ce schéma, c'est-à-dire la tarification la plus pertinente.*

Plus formellement, la description du moteur s'appuie sur les notions d'activation, de majoration et d'évaluation, précisées par les défini-

tions suivantes.

- L'activation : un schéma est dit activable si la donnée médicale qui en constitue la racine est présente dans la base de faits (a été déclarée ou déduite d'un diagnostic de nouveauté).
- La majoration : une donnée médicale est dite majorante lorsqu'elle apparaît dans un schéma sous un des opérateurs suivants : complications, complications additives, appréciations, appréciations additives, reconsidérations, thérapeutiques et traitements, ce qui exclut la rubrique facteurs de risque.
- L'évaluation : évaluer c'est déterminer la tarification la plus pertinente pour une ou plusieurs données médicales, c'est donc rechercher la tarification qui autorise le plus d'inférences.
- Le contexte : il est constitué par la base de faits. Les faits sont de deux natures : d'une part des données d'examens, des données cliniques, des thérapeutiques, des traitements, des spécifications attachées aux données cliniques et aux actes thérapeutiques, renseignés par l'utilisateur ; d'autre part des maladies et symboles (par exemple diagnostic d'incohérence) déduits par le moteur de diagnostic.
- Les opérateurs activables : ils forment l'ensemble des opérateurs cognitifs pour lesquels :
  - la prémisse (ou le fait provenant de la base de faits) correspondante appartient au contexte ;
  - l'opérateur précédent est activable, donc il autorise un pas d'inférence supplémentaire.

*Le moteur d'inférences repose sur huit règles.*

Maintenant, dégageons les règles d'évaluation des schémas d'inférences. Elles constituent une caractérisation fonctionnelle des algorithmes de l'expertise, qui tente de "mimer" la recherche de la pertinence.

### (1) Règle de pertinence :

La règle de pertinence constitue la règle principale du moteur d'inférences. Elle exprime l'algorithme général de parcours des schémas :

- |       |  |
|-------|--|
| Si    | l'ensemble des faits inférés des opérateurs activables constitue dans le schéma d'inférences un chemin linéaire (il n'y a pas d'opérateur activable autorisant une inférence supplémentaire) |
| Alors | retenir la tarification associée à la donnée médicale attachée à l'opérateur cognitif autorisant le plus d'inférences  |

par rapport à l'évaluation de ce schéma,  
**Sinon** on déduit que : l'ensemble des faits n'est pas pris en compte dans un schéma unique, mais dans plusieurs schémas activables.  
 et appliquer la règle (2)

**(2) Règle d'addition des tarifications associées à des arbres d'inférences disjoints :**

La règle (1) représente la tarification relative à l'activation d'un schéma unique. Il arrive parfois que les connaissances de la base de faits se retrouvent dans plusieurs schémas disjoints. C'est le cas d'un dossier médical où le client a deux maladies sans aucune relation entre elles, par exemple une hypertension artérielle et une bronchite chronique. Ici, la règle (2) s'applique :

**Si** chacune des données médicales activées est prise en compte dans un schéma et un seul ; autrement dit, si les schémas activés ne partagent aucune donnée médicale,  
**Alors** additionner les tarifications résultant de l'évaluation de chaque schéma activé,  
**Sinon** on déduit que : une (ou plusieurs) donnée(s) médicale(s) est (ou sont) présente(s) dans plusieurs schémas activables et appliquer la règle (3)

**(3) Règle d'addition des schémas d'inférences joints par l'opérateur de facteur de risque :**

Lorsque des schémas activés partagent les connaissances émanant seulement de l'opérateur facteur de risque, alors les schémas sont dits joints par l'opérateur facteur de risque. Par exemple un client obèse qui a un antécédent d'infarctus payera une surprime pour son obésité, une autre pour son infarctus et encore une troisième pour son obésité identifiée comme facteur de risque de l'infarctus. Dans ce cas, la règle (3) s'applique :

**Si** chacune des données médicales présente dans plusieurs schémas activables n'apparaît que dans la rubrique facteurs de risque, outre le schéma dont elles constituent les racines,  
**Alors** additionner les tarifications comme dans la règle (2), en additionnant les tarifications additives des facteurs de risque.  
**Sinon** on déduit que : les données médicales présentes dans plu-

sieurs arbres activables n'apparaissent pas uniquement dans les opérateurs facteurs de risque, mais sont alors considérées comme des données majorantes ;  
et appliquer la règle (4)

**(4) Règle d'addition des schémas d'inférences joints par majoration :**

Lorsque deux schémas au moins partagent des majorations, le dispositif cognitif doit décider du schéma le plus pertinent, c'est-à-dire celui qui autorise le plus d'inférences. Et, la règle (4) s'applique :

- Si une donnée médicale Y apparaît comme majorante (autrement dit possède un pas d'inférence supplémentaire) d'une autre donnée médicale X,  
Alors ne retenir que le résultat de l'évaluation du schéma de Y, en ne tenant pas compte du schéma de X, qui du coup est moins pertinent que celui de Y. Et appliquer la règle (2) pour les autres schémas activables.  
Sinon on déduit que : les schémas de X et de Y se recouvrent, et appliquer la règle (5).

**(5) Règle de cohérence de la base de connaissances :**

Supposons que deux schémas de la base de connaissances se recouvrent. La décidabilité du schéma le plus pertinent est alors impossible. Par exemple, si le schéma de l'infarctus inclut toutes les connaissances du schéma du diabète, et que celui du diabète inclut toutes les connaissances relatives à l'infarctus, on en déduit que la base de connaissances est mal formalisée, et l'expert est alors appelé en renfort pour la corriger.

- Si l'ensemble des données activées du schéma Y inclut l'ensemble des données activées du schéma Z,  
Alors déduire que l'expertise est soit incomplète, soit redondante ; et interrompre l'évaluation en demandant l'intervention d'un expert afin qu'il corrige la structure de la base de connaissances.

**(6) Règle d'addition des données médicales contenues dans des rubriques additives :**

D'une façon générale, toutes les connaissances issues des opérateurs additifs (facteurs de risque, complications additives et appréciations

additives) sont additionnées.

Si les données médicales contenues dans des opérateurs additifs sont activées,  
Alors additionner les tarifications des données médicales contenues dans les rubriques additives aux résultats obtenus par la règle (1).

#### (7) Règle de consistance de la base de faits :

Il est nécessaire que la recherche de la pertinence garantisse également l'exhaustivité des données de la base de faits saisies par l'utilisateur. De même, l'utilisateur doit pouvoir s'assurer qu'il a saisi le plus d'informations pertinentes possibles, afin que le dispositif prenne la décision la plus pertinente possible. Prenons l'exemple de l'utilisateur qui a indiqué que le client a eu un infarctus mais ne l'a pas spécifié. Dans ce cas, le système conclut d'abord de ne pas tarifier le dossier et demande à l'utilisateur les renseignements complémentaires lui permettant de proposer une décision. De la même façon, l'utilisateur peut demander au dispositif de lui adresser les informations qui serviraient à effectuer des inférences supplémentaires et donc à maximiser la pertinence de la décision. La règle de la consistance de la base de faits s'énonce ainsi :

Si l'activation de la règle (1) conclut sur NPT (ne pas tarifier),  
Alors forcer la tarification en rendant les pas inférentiels suivants activables (ou les opérateurs cognitifs suivants), et les faire valider par l'utilisateur,  
Sinon Rejet du dossier pour cause d'informations insuffisantes et/ou inconsistantes ;  
et appeler l'expert pour relancer les investigations médicales (demande de nouveaux examens, bilan de santé, etc...).

#### (8) Règle de primauté des décisions de tarification :

Enfin, certaines décisions ont plus de poids que d'autres. Imaginons qu'un dossier active à la fois un schéma débouchant sur une décision de tarification de 50%, et un autre schéma une décision conduisant à un refus. Dans ce cas, le dossier est refusé. Il existe donc une hiérarchie des décisions, qui s'exprime comme suit :

NPT (conclure de ne pas tarifier car, les informations sont insuffi-

santes pour permettre une prise de décision).

prime sur

Refus (conclure sur un refus)

qui prime sur

Ajournement à 18 mois (conclure sur un ajournement à 18 mois)

qui prime sur

Ajournement à 12 mois (conclure sur un ajournement à 12 mois)

qui prime sur

Ajournement à 6 mois (conclure sur un ajournement à 6 mois)

qui prime sur

Sur-risque chiffré (additionner les sur-risques jusqu'à 450%, au-delà conclure sur un refus)

qui prime sur

Conditions normales (conclure sur conditions normales, et donc accepter le dossier sans attribution d'une sur-prime).

En définitive, les huit règles représentent l'algorithme du moteur d'inférences du système expert. Ce moteur, fondé sur la théorie de la pertinence, est calqué sur l'activité de pronostic qui consiste à rechercher le maximum d'inférences valides et/ou à rendre valides des inférences plausibles.

*Le moteur d'inférences a cinq fonctions.*

Ce moteur, tout comme la pertinence sur lequel il se fonde, remplit les fonctions :

- (a) d'activation des schémas en les parcourant ;
- (b) de détermination des conditions d'arrêt du parcours de graphe : en plus des propriétés syntaxiques des opérateurs qui définissent déjà les enchaînements possibles, la pertinence, en recherchant l'ensemble des inférences autorisables, fournit un moyen de stopper le moteur d'inférences et donc de proposer une décision ;
- (c) de gestion de cohérence de la base de connaissances (règle 5) ;
- (d) de vérification de la consistance de la base de faits (règle 7) en forçant, à la demande de l'utilisateur, les inférences autorisables ; c'est-à-dire en rendant les pas inférentiels suivants activables ;
- (e) de limitation de l'explosion combinatoire, qui consisterait à dénombrer l'ensemble des inférences possibles. Lors de la tarification, le moteur d'inférences ne retient que les inférences valides et les inférences plausibles.

Ainsi, la pertinence trouve dans la conception de ce système expert, une opérationnalisation industrielle de sa théorie.

En résumé, le moteur d'inférences du dispositif cognitif repose sur

la recherche systématique de la connaissance la plus pertinente. En parcourant les schémas, il détermine les valeurs de vérité des prémisses de départ, en fonction des opérateurs activés. Dans le même temps, le moteur d'inférences s'assure de la cohérence de la base de connaissances et de la consistance de la base de faits.

#### 4.2.2.2.4.

### La notion d'opérateur cognitif : vers une conceptualisation

Une notion clé développée dans cette thèse est celle d'opérateur cognitif. Nous souhaitons y apporter quelques précisions d'ordre conceptuel.

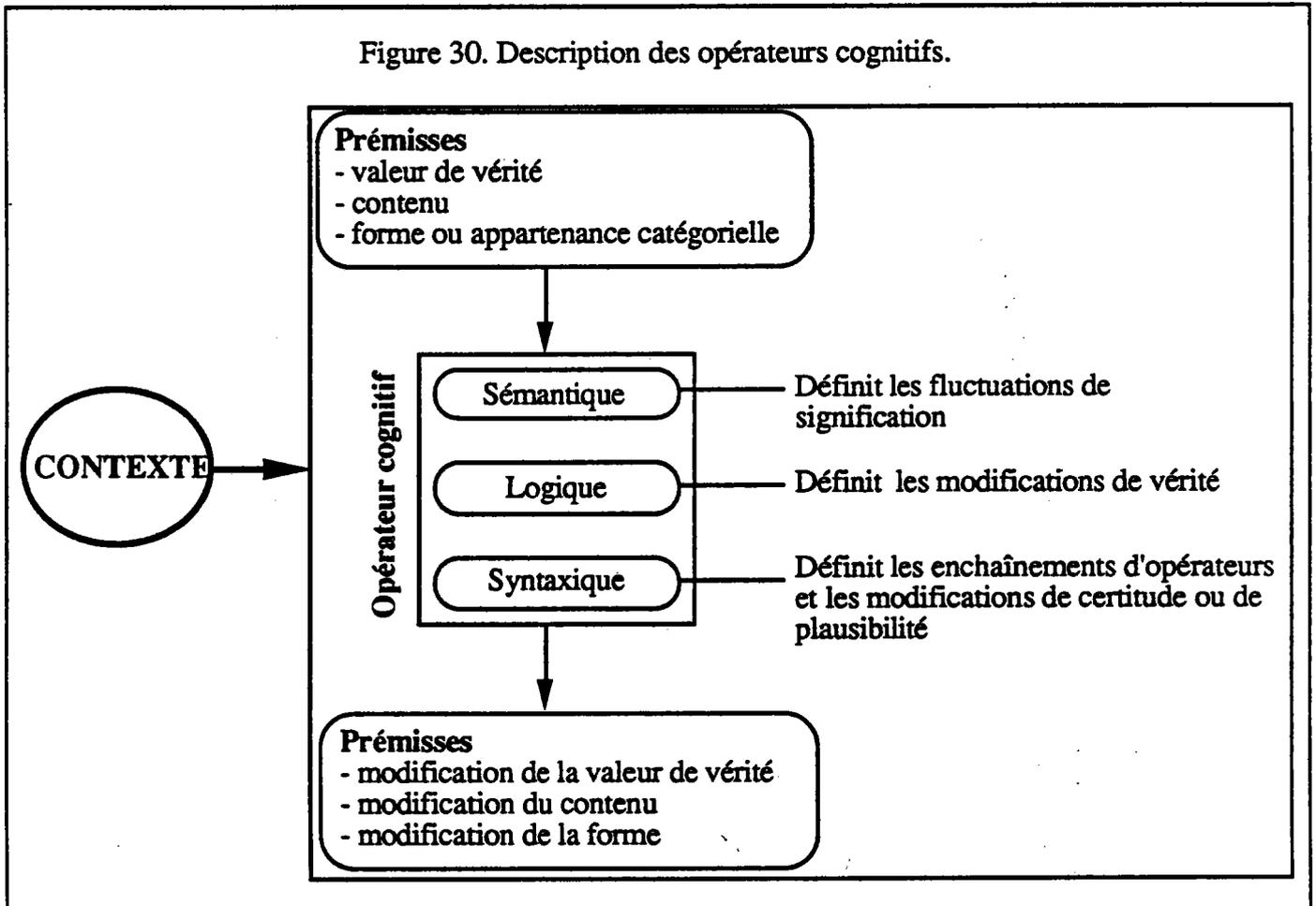
*L'opérateur cognitif est un modèle permettant des modifications d'entités cognitives.*

Un opérateur cognitif est un modèle d'un élément cognitif permettant dans un contexte donné de faire varier la signification d'une (ou de plusieurs prémisses ou hypothèses) en la (ou les) mettant en relation avec d'autres prémisses du contexte. Ils ont un effet démultiplicateur sur la pertinence des prémisses en permettant un changement de leur signification contextuelle. Ce changement porte sur (figure 30) :

- **la modification de la forme (ou de l'appartenance catégorielle) de la prémisse** ; c'est-à-dire la modification de son aspect externe, de son apparence extérieure. En ce sens, l'opérateur cognitif permet de modifier les propriétés catégorielles d'un concept, c'est-à-dire son organisation prototypique. Autrement dit, l'opérateur cognitif a la propriété de décomposer la relation d'un concept avec sa catégorie d'appartenance pour ensuite reconstruire la signification de ce concept, mais cette fois en rapport avec une autre catégorie. Les modifications de la forme constituent donc un processus par lequel le dispositif cognitif construit les contours de l'objet de son raisonnement.
- **la substitution du contenu de la prémisse** qui consiste en la modification de ce que signifie la prémisse. La substitution du contenu constitue donc un processus dynamique par lequel le dispositif cognitif construit le contenu de l'objet de son raisonnement.
- **le changement de la vérité de la prémisse** qui représente la modification de ses conditions de vérité. Le changement de la vérité construit l'ensemble des connaissances auquel on accorde une grande valeur de vérité ainsi que celui doté d'une grande valeur de fausseté. Le changement de la vérité est donc un processus par lequel le dispositif cognitif met en rapport la conformité de la valeur de vérité initiale (entrant dans

l'opérateur) avec la vérité relative au contexte (sortant de l'opérateur).

Figure 30. Description des opérateurs cognitifs.



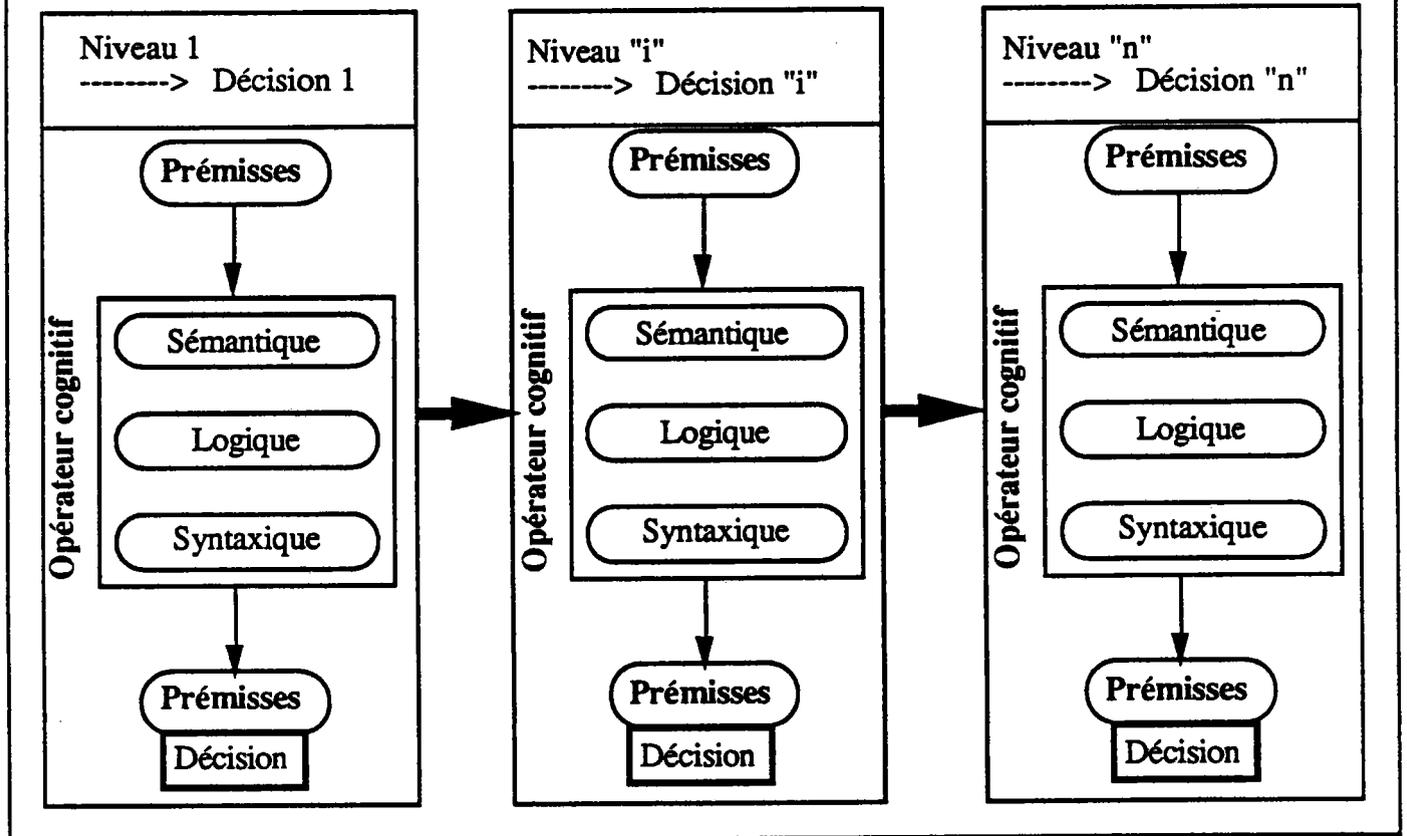
Ces changements de signification sont rendus possibles par les contenus des opérateurs, notamment :

- **sémantique**, qui définit les combinaisons de la face signifiée des concepts utilisés par le dispositif cognitif. Ce sont des descriptions du contenu des concepts.
- **logique**, qui définit les combinaisons des règles logiques du dispositif cognitif. A l'inverse de la logique formelle, les propriétés logiques des opérateurs portent à la fois sur le contenu et la forme des inférences. Elles déterminent à quelles conditions il est certain d'obtenir une conclusion en partant de prémisses estimées pertinentes. Elles établissent également à quelles conditions il est plausible que des prémisses soient vraies en fonction de la certitude des conclusions. La logique est donc un instrument de la cognition.
- **syntactique**, qui définit les combinaisons de relations entre les prémisses. Par sa fonction d'enchaînement d'une prémisses vers une autre, le contenu syntaxique de l'opérateur se distingue des

contenus sémantiques et logiques, conçus comme des propriétés interprétatives de l'opérateur cognitif.

La modélisation sous forme d'opérateurs représente donc une forme décompilée des connaissances, pour employer un "jargon" informatique.

Figure 31. Modèle de l'enchaînement des connaissances dans les schémas d'inférences par les opérateurs cognitifs.



Les trois propriétés dynamiques et les trois contenus des opérateurs cognitifs définissent la combinatoire des prémisses et conjointement celle des opérateurs cognitifs. Dans cet ordre d'idées, le dispositif cognitif n'a pas à balayer l'ensemble des combinaisons possibles de l'ensemble des prémisses possibles, mais les opérateurs lui permettent de restreindre son espace de solution et de naviguer dans cet espace afin de déterminer la conclusion de son raisonnement. En fait, tout se passe comme si les opérateurs cognitifs formaient un système de contraintes mis à la disposition du système cognitif (par implémentation dans le cas d'un système artificiel, et par apprentissage dans le cas d'un système naturel) qui autorise ou interdit certains raisonnements. Ainsi, les opérateurs cognitifs représentent des possibilités de structuration d'entités cognitives que nous avons appelées des schémas d'inférences.

Un schéma d'inférences est une description des enchaînements d'opérateurs cognitifs en tant que leurs contenus sémantique, logique et syntaxique déterminent des relations inférentielles :

- soit entre une prémisses et une autre prémisses,
- et/ou, soit entre une prémisses et une décision,
- et/ou, soit entre un opérateur et un autre opérateur (figure 31).

Un schéma d'inférences est donc un modèle descriptif et prédictif du processus de prise de décision. Il contient en amont la définition de l'état initial du système (ou prémisses initialisant le raisonnement) et en aval l'état final (ou décision). Un schéma est en quelque sorte une photographie des relations de voisinage que les opérateurs cognitifs, les prémisses et les décisions entretiennent entre eux.

*L'activation des schémas est effectuée et régulée par la pertinence.*

Il nous faut encore voir comment le dispositif cognitif active les opérateurs cognitifs et les schémas d'inférences. Pour ce qui nous concerne, la pertinence représente un principe général d'activation des schémas. En propageant l'activation au sein des schémas, la pertinence détermine la croissance et la décroissance de l'activation. Elle définit ainsi certaines conditions :

*Premièrement, la propagation de l'activation des connaissances est régulée par les schémas.*

- **de poursuite de l'activation** : tant que des opérateurs cognitifs et des prémisses sont activables alors le dispositif cognitif les active.
- **d'arrêt de l'activation** : une fois que toutes les prémisses et opérateurs activables ont été activés, le dispositif cognitif stoppe la propagation de l'activation.
- **de cohérence de l'activation** : lorsque plusieurs schémas activent des prémisses et des opérateurs cognitifs totalement identiques, alors le problème posé au dispositif cognitif est inextricable. Dans ce cas, le système en réfère à un expert humain plus qualifié que lui, afin que ce dernier prenne, d'une part la décision à sa place et d'autre part, avertisse le système en corrigeant sa base de connaissances.
- **de consistance de l'activation** (ou exhaustivité de l'activation) : lorsque le dispositif cognitif a activé les prémisses et opérateurs activables, il s'assure de ne pouvoir activer des prémisses ou des opérateurs supplémentaires.

*Deuxièmement, la propagation de l'activation des connaissances est régulée par les opérateurs.*

Par ailleurs, un deuxième type de conditions de propagation de l'activation se situe au niveau des opérateurs. Ces conditions déterminent :

- **le déclenchement ou l'arrêt de l'activation** : si une prémisse se trouve en entrée d'un opérateur, elle active l'opérateur, qui lui-même déclenche une prémisse ou une décision.
- **l'ouverture ou la fermeture de l'accès à une prémisse** : lorsqu'un opérateur cognitif est activé, il autorise ou interdit l'activation des prémisses qui le suivent.
- **l'ouverture ou la fermeture de l'accès à une décision** : quand un opérateur cognitif est activé et qu'il déclenche l'activation d'une prémisse, alors la décision attachée à la prémisse qu'il vient d'activer devient elle-même activée.

*Troisièmement, la propagation de l'activation des connaissances est régulée par les décisions.*

Enfin, un troisième type de conditions de propagation de l'activation repose sur les décisions associées aux prémisses des opérateurs cognitifs. Ces conditions concernent :

- **la recherche de la décidabilité** : compte tenu des connaissances dont dispose le système cognitif, il se peut qu'aucun opérateur n'active de conclusion certaine ou plausible. Dans ce cas, le schéma activé est déclaré indécidable, mais le système cognitif est tout de même en mesure de supposer certaines décisions en les forçant. Ainsi, dans les cas d'indécidabilité, le dispositif cognitif peut rendre actives les décisions attachées à des opérateurs cognitifs ou à des prémisses dont l'activation est à même d'être forcée.
- **la primauté de certaines décisions** : lorsque plusieurs schémas sont activés, le dispositif cognitif retient la décision la plus forte (par rapport à un classement hiérarchique des décisions possibles), ou bien effectue une combinaison des décisions possibles. Il applique ensuite sa décision au problème qui lui est soumis.

En somme, l'activation d'un schéma permet au dispositif cognitif de se prononcer sur une décision. De la sorte, la propagation de l'activation donne aux connaissances, qu'elles soient relatives à des opérateurs, des prémisses ou des décisions, des possibilités inférentielles et des potentialités décisionnelles.

La combinaison des opérateurs cognitifs au sein de schémas d'inférences constitue une représentation du processus cognitif, dans la mesure où elle forme une description de la succession d'éléments (prémisses et opérateurs) se reproduisant avec une certaine régularité. Ce processus permet le passage d'un stade initial, la

prise d'informations sur les prémisses, à un stade final, la décision, par l'intermédiaire d'un certain nombre d'opérateurs cognitifs. Le processus cognitif est largement associé au principe de pertinence, dans le sens où la prémisse initiale et la conclusion finale sont liées inférentiellement par une succession d'opérateurs cognitifs. La mesure des changements constatés (de l'état initial à un état final) est prédictive des comportements du dispositif cognitif.

Cependant, cette conception du processus cognitif ne doit pas laisser entendre que les constructions mentales sont systématiquement représentées sous forme de schémas d'inférences orientés vers des buts. En effet, la notion de schéma d'inférences fait souvent penser à une procédure selon laquelle les prémisses sont planifiées hiérarchiquement et reliées entre elles pour aboutir à une action de décision. De ce point de vue, la spécification des procédures de décisions par des changements d'états présuppose une énumération des conditions de satisfaction de chacun des états. Cette énumération peut être appropriée ou inappropriée à l'activité de décision de l'expert. Elle est appropriée, lorsque l'activité de l'expert correspond à une planification hiérarchique qui, par un fonctionnement analytique, balaie de façon exhaustive un arbre de décisions et aboutit à une conclusion. Par contre, elle est inappropriée quand l'activité de l'expert consiste à déterminer des prémisses qu'il peut directement coupler avec des décisions, sans être obligé de parcourir l'ensemble de l'espace des solutions. Dans ce cas, le fonctionnement du sujet est heuristique et à chaque prémisse de son problème, il est capable d'associer une action de décision. De la sorte, l'activité de l'expert est non plus centrée sur une planification qui viserait à anticiper et schématiser des procédures permettant de définir une action de décision, mais elle explore les relations locales entre la connaissance et l'action dans les circonstances particulières d'un contexte donné. C'est précisément une des fonctions des opérateurs cognitifs : ils permettent d'une part de coupler localement des prémisses et des actions de décision, et d'autre part ils peuvent s'agencer pour définir des schémas d'interprétation. Ainsi, les décisions sont déterminées à la fois localement et globalement. Au niveau local, l'activation d'un opérateur cognitif par une prémisse débouche sur une conclusion ; l'opérateur cognitif sert ici à autoriser ou interdire des décisions locales. Au niveau global, l'activation d'un opérateur peut activer d'autres opérateurs, prémisses et conclusions, qui combinés selon la pertinence, visent à construire un schéma d'inférences et à obtenir une décision globale. Les opérateurs cognitifs ont ici pour fonction d'assurer la cohérence de la décision globale par rapport au problème posé. Par conséquent, la cohérence entre les décisions et

les prémisses ne provient pas seulement de la capacité des schémas à déterminer une solution, mais elle est également une propriété émergente des interactions locales (interactions qui mettent en relation les contenus syntaxiques, sémantiques et logiques des connaissances) entre des opérateurs cognitifs et des prémisses. En définitive, l'opérateur cognitif permet au dispositif cognitif de bénéficier de ressources et de contraintes liées à la fois à la cognition du sujet et à l'environnement de sa prise de décision.

La notion d'opérateur cognitif n'est sans doute qu'un aspect de la modélisation d'une expertise particulière. Néanmoins, l'expertise analysée lors de conception d'un second système expert concernant la gestion de portefeuille boursier, tend à renforcer cette notion. Sans entrer dans les détails de ce système expert, il apparaît que des connaissances bien particulières possèdent les propriétés de transformer des prémisses en d'autres prémisses. Une fois encore, ces connaissances ont des formes logiques, sémantiques et syntaxiques ayant les propriétés de réduire l'espace des solutions possibles et d'autoriser des inférences. Si une telle description du processus de la prise de décision se dégagait dans d'autres travaux de recherches expérimentaux ou empiriques, nous serions alors tenté de soutenir qu'à défaut d'être un aspect général de la cognition, les opérateurs cognitifs représentent au moins une particularité des expertises relatives à la prise de risque, que ce soit le risque médical ou le risque financier.

Pour conclure : les opérateurs cognitifs déterminent la force relative des liens existant entre deux connaissances. Leurs contenus sémantiques, logiques et syntaxiques définissent les propriétés transformationnelles des connaissances mises en relation. La pertinence, quant à elle, détermine la capacité des connaissances, des opérateurs et des schémas à être mobilisée.

### **4.2.3. L'architecture du système expert : le modèle de simulation**

Les architectures cognitives et logicielles auxquelles nous sommes parvenus proposent un formalisme centré sur la cognition de l'expert. Elles nous montrent que la caractérisation fonctionnelle sous une forme quasi-algorithmique de l'expertise humaine est possible. Elles indiquent également que la catégorisation des connaissances fournit un critère d'organisation de la base de connaissances, et souligne enfin que des principes cognitifs comme celui de la

pertinence, apportent des éléments de compréhension, de modélisation et d'informatisation de la cognition.

Alors que l'activité de diagnostic s'attache à suivre des variations de valeur de certaines données, en l'occurrence des résultats d'examens, l'activité de pronostic est en plus capable de définir de nouveaux paramètres, en l'occurrence des inférences à partir des données cliniques, des examens, des traitements et des thérapeutiques. La tarification des dossiers médicaux en assurance-vie correspond ainsi à une situation mentale d'identification et de compréhension d'informations préalablement diagnostiquées par un médecin. Le pronostic semble guidé, entre autres choses, par la recherche de la pertinence maximale. Lors de la tarification d'un dossier, cette stratégie permet la construction et l'évaluation de schémas d'inférences.

Corrélativement aux activités de diagnostic et de pronostic, le système expert repose sur une double architecture (figure 32).

Figure 32. Tableau récapitulatif des caractéristiques de la modélisation de l'expertise.

Activité	Diagnostic	Pronostic
Données médicales	Examens, données cliniques	Données cliniques, examens, thérapeutiques, traitements
Formalisations	Formes logiques manipulant des concepts	Opérateurs cognitifs incluant des formes logiques, sémantiques et syntaxiques
Notations	Règles de production	Schémas d'inférences
Mécanismes	Moteur d'ordre 0+	Moteur de recherche des inférences pertinentes
Conclusions	Diagnostic de nouveauté Diagnostic de gravité Diagnostic d'incohérence	Décisions de tarification (pourcentage de sur-risque, conditions normales, refus, ajournement, ne pas tarifer)

En somme, notre cheminement a consisté à partir d'une analyse du fonctionnement cognitif de l'expert pour en dériver un modèle d'expertise. Ce modèle a impliqué la conception et l'implémentation de trois bases de connaissances et de deux moteurs d'inférences. (figure 33). Sur ce point, ce système expert se différencie totalement des générateurs de systèmes experts proposant un moule de représentation des connaissances et un unique moteur d'inférences, où le cognicien se charge de faire "rentrer" les connaissances de l'expert dans ce moule. En effet, dans notre cas la modélisation de la cognition a permis d'établir :

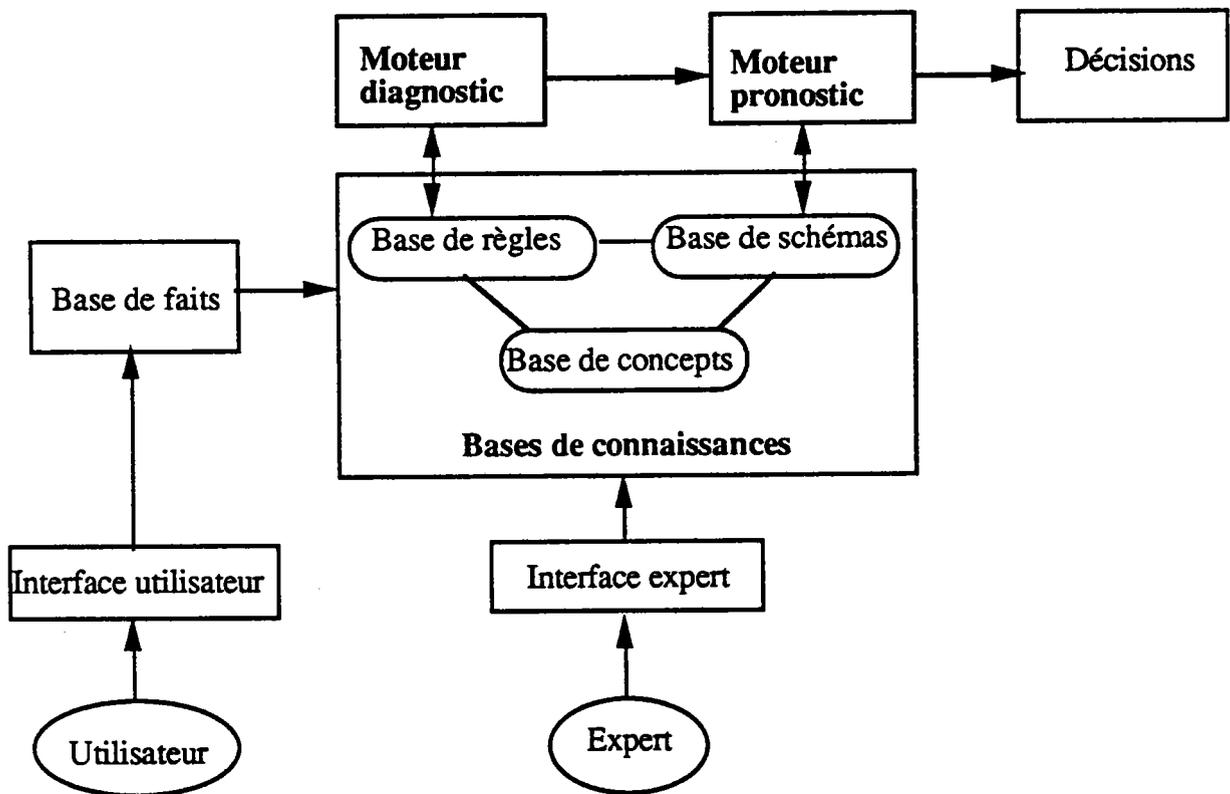
- une catégorisation des connaissances qui, implémentée sous la forme d'une base de concepts, organise les diverses données

médicales ;

- une représentation des diagnostics sous forme de règles de production, implémentées dans une base de règles et activées par un moteur de diagnostic ;
- une représentation des pronostics, dans laquelle des opérateurs cognitifs déterminent des conditions de vérité et de plausibilité des prémisses et autorisent ainsi des inférences. Ces pronostics sont implémentés sous la forme de schémas activés par un moteur d'inférences.

Ainsi, l'architecture à laquelle nous avons abouti (figure 33) tient davantage compte des caractéristiques propres à l'expertise et au recueil que des caractéristiques techniques des outils d'intelligence artificielle.

Figure 33. Architecture du système expert.



*La connaissance est toujours en relation avec celui qui la manipule.*

Sur le plan de la méthodologie de conception suivie, la particularité de notre démarche est sans doute d'avoir insisté sur le formalisme des connaissances et sur les principes fondamentaux qui régissent la cognition humaine, comme la catégorisation et la pertinence. Ces travaux ont trouvé ici une opérationnalisation. De plus, en centrant la méthode de conception sur certains aspects d'un formalisme cogni-

tif, nous avons choisi d'écarter de notre champ les démarches de conception basées sur les cycles de vie de l'application, ou sur des outils de conception orientés objets par exemple. A cet égard, il est intéressant de constater la spécificité des rapports qui se dessinent entre la conception d'un système expert et la formalisation d'un style de cognition. Beaucoup de systèmes experts laissent en effet à penser que la cognition humaine consiste en un système de règles de production. Dans ces cas, on considère implicitement les connaissances comme étant des entités isolées, que seule une logique formelle peut activer. Ce genre d'approche tend à évacuer le problème de la congruence entre les représentations de l'expert et la représentation utilisée dans le système. Pourtant, si le système expert est conçu comme un dispositif d'assistance à l'opérateur, alors il doit être coopératif tant en surface (ergonomie des écrans, interfaces utilisateur et expert) qu'en profondeur (procédures de simulation des raisonnements). Tenir compte des caractéristiques cognitives de l'expertise est sans doute un plus apporté à la conception d'un système expert, encore nous faut-il prouver que les théories et analyses cognitives de l'expertise augurent la validité et les performances du système expert.

---

### 4.3. VALIDATION : LA SIMULATION DU MODELE

---

*La validation est un processus continu visant à garantir un haut niveau de performance de la base de connaissances.*

La validation de la base de connaissances d'un système expert est un processus continu qui commence lors de la réalisation d'une maquette où les paradigmes de représentations des connaissances doivent être évalués, qui se poursuit par l'évaluation des aspects ergonomiques du dialogue homme-machine, et doit être continuée lors de chaque modification importante de la base de connaissances. La validation de la base de connaissances s'attache à vérifier la qualité ou la non-qualité de la modélisation des connaissances et des performances du système. Elle ne contient pas la seule fonction de savoir si le système se comporte de manière adéquate, mais elle cherche également à amener la base de connaissances à un niveau acceptable de maturité. La validation est par conséquent un processus continu, rendu nécessaire pour maintenir la base de connaissances à un haut niveau de performance.

Comme nous le soutenions dans le domaine de la recherche, la validation intrinsèque de la modélisation de la cognition s'attache à vali-

der l'acceptabilité des décisions et des justifications du système expert par rapport à celles des experts humains. En ce sens, elle vise à déterminer d'une part le niveau de compatibilité entre les décisions artificielles et les décisions naturelles et, d'autre part, la compatibilité entre les justifications artificielles et naturelles. Soulignons que la finalité de la validation du système n'est pas de montrer qu'il fonctionne. Bien au contraire, notre objectif est d'arriver à préciser ses faiblesses et d'identifier leurs provenances (faiblesses techniques, cognitives, ergonomiques).

Aussi, la passation d'un test confrontant les expertises humaines aux expertises artificielles nous a permis de dégager une lecture des résultats (en annexes) en termes de compatibilité décisionnelle et de compatibilité justificative entre les experts et la machine.

### **4.3.1. La compatibilité experts / système expert au niveau des décisions**

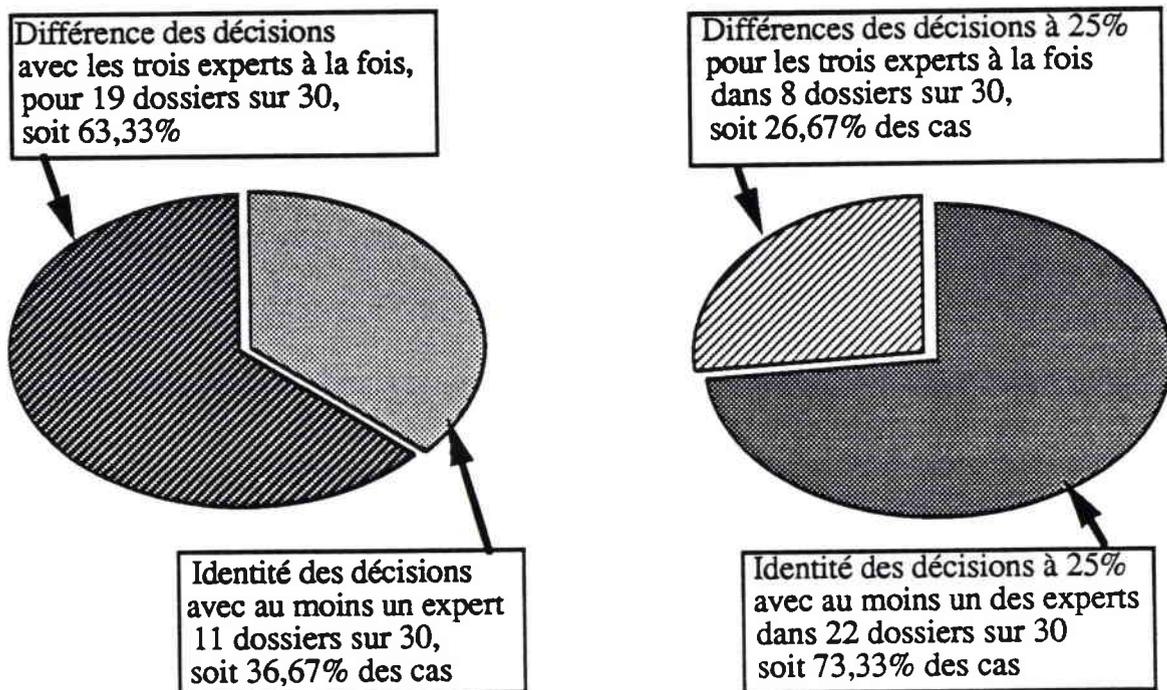
La compatibilité entre les décisions des experts et celles du système constitue un premier élément de validation. Celui-ci est basé sur l'hypothèse selon laquelle : si le système expert débouche sur des décisions identiques à celles des experts humains, alors les décisions du système sont considérées comme acceptables. Afin de discuter cette hypothèse, nous présenterons tout d'abord le niveau d'acceptabilité des décisions du système par les experts humains. Puis, nous montrerons que le niveau d'acceptabilité des décisions n'est pas a priori dépendant du degré de complexité des dossiers médicaux. La discussion des données qui invalident en partie l'identité des décisions entre les experts et la machine, nous permettra finalement de déterminer les origines du manque de compatibilité entre certaines décisions du système et celles des experts. Ainsi, l'analyse des résultats sera d'abord quantitative, en cherchant à mesurer le taux d'accord entre les décisions naturelles et artificielles, et ensuite qualitative, en visant à expliquer le rejet par les experts de certaines décisions de la machine.

### L'acceptabilité des décisions

*L'identité relative à 25% des décisions entre les experts et le système apparaît dans 73,33% des cas.*

L'identité parfaite des décisions du système expert avec au moins un des experts humains est relativement faible (figure 34). Dans seulement 11 cas sur 30 le système est en conformité absolue avec les décisions d'au moins un expert. Cependant, l'identité relative, c'est-à-dire calculée avec une marge de 25%, est forte : dans 22 cas sur 30 le système expert aboutit à une décision très proche de celles des experts. Le calcul de l'identité à partir de cette marge de 25% est justifié par le fait que les tarificateurs ont la liberté de modifier légèrement leurs décisions, c'est-à-dire de l'augmenter ou de la diminuer, et ce avec une marge de 25% en fonction de critères commerciaux. Notons que de plus, l'identité des décisions des experts n'est pas parfaite. Dans un cas, nous avons observé un écart de 100% entre leurs décisions.

Figure 34. L'identité des décisions entre les experts humains et le système expert.



En bref, le système expert prend des décisions relativement identiques à celles des experts humains.

Au moyen d'un traitement statistique (test de Student), nous avons cherché à savoir si ces identités parfaites et relatives pouvaient s'expliquer par le hasard. Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons rangé les décisions d'AndroMED en classes. Ainsi, les

décisions possibles sont : condition normale, ajournement, refus, ne pas tarifer et les décisions comprises entre ]0%, 450%], soit 454 décisions possibles. En rapportant les primes de sur-risque à des classes de 5%, nous ne trouvons plus que 94 décisions possibles. C'est-à-dire une probabilité de trouver au hasard la bonne décision de 1/94, soit 0,0106. En conséquence, comme l'indique la figure 35, malgré la faiblesse de l'identité des décisions du système avec celles des experts, ses décisions sont différentes de celles dues au hasard.

Figure 35. Tableau résultat du test de Student comparant la probabilité liée au hasard à la probabilité du système expert de trouver une décision parfaitement identique avec au moins un expert	
Probabilité observée	0,367
Probabilité liée au hasard	0,0106
Valeur du T-test	3,981 $p \leq 0,0005$

Il en est de même pour l'identité relative à 25% (figure 36). Cette fois les décisions possibles ont été rangées en classes de 50%.

Les classes sont :

Classe 1 = condition normale d'acceptation du dossier médical

Classe 2 = 0% < sur-risque ≤ 50%

Classe 3 = 50% < sur-risque ≤ 100%

Classe 4 = 100% < sur-risque ≤ 150%

Classe 5 = 150% < sur-risque ≤ 200%

Classe 6 = 200% < sur-risque ≤ 250%

Classe 7 = 250% < sur-risque ≤ 300%

Classe 8 = 300% < sur-risque ≤ 350%

Classe 9 = 350% < sur-risque ≤ 400%

Classe 10 = 400% < sur-risque ≤ 450%

Classe 11 = Ajournement

Classe 12 = Refus

Classe 13 = Ne pas tarifer

Ainsi la probabilité de trouver la bonne décision au hasard est de 1/13, soit 0,076.

*La probabilité de trouver la décision adaptée au problème posé est nettement supérieure à celle du hasard.*

Figure 36. Tableau résultat du test de Student comparant la probabilité liée au hasard à la probabilité du système expert de trouver une décision relativement identique (à 25%) avec au moins un expert	
Probabilité observée	0,733
Probabilité liée au hasard	0,076
Valeur du T-test	8,93 $p \leq 0,0005$

C'est pourquoi les décisions d'AndroMED sont très significativement différentes de celles que l'on pourrait obtenir par hasard. Mais, cela ne certifie pas pour autant leur acceptabilité par les experts.

Dès lors, un autre critère intervenant dans la validation du système expert est celui du jugement d'accord ou de désaccord des experts



ses décisions au hasard, il nous faut encore établir qu'il existe une corrélation entre les décisions des experts humains et celles d'AndroMED. Comme l'indique la figure 39, les corrélations linéaires entre les décisions des experts rangées par classes de 50% et celles du système rangées également par classes de 50% sont largement significatives (significativité à 0,01 dès lors où  $R > 0,45$ ).

Cependant, cette constatation générale masque des divergences entre les experts. Entre les décisions de l'expert 1 et celles du système, la corrélation est très forte par rapport à celles des autres experts ou encore par rapport à la tarification "manuelle" qui avait été prise lors de la tarification des dossiers par un agent. Ceci s'explique sans doute par le fait que l'expert 1 est chargé de mettre à jour la base de connaissances. De plus, c'est lui qui a participé le plus activement au recueil d'expertise. Dès lors, la forte corrélation entre ses décisions et celles du système provient premièrement de sa maîtrise de la base de connaissances du système et secondement, du fait que la modélisation cognitive est largement inspirée de ce qu'il a dit lors des entretiens.

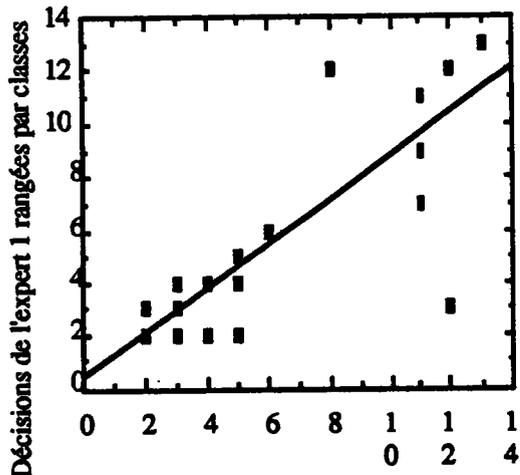
Figure 39. Cluster des corrélations linéaires entre les 12 classes de décisions des experts 1, 2, 3, manuel et le système expert.

	Décisions Expert 1	Décisions Expert 2	Décisions Expert 3	Décisions Système
"Manuel" Covariance	8,802	9,577	7,959	9,931
Corrélation	0,65	0,77	0,694	0,717
R2	0,423	0,594	0,481	0,513
Expert 1 Covariance		10,846	8,255	11,448
Corrélation		0,889	0,733	0,841
R2		0,79	0,537	0,708
Expert 2 Covariance			8,417	9,138
Corrélation			0,814	0,731
R2			0,663	0,535
Expert 3 Covariance				8,414
Corrélation				0,73
R2				0,533

En revanche, on est tenté de souligner que les corrélations des autres experts avec le système, bien que significatives, semblent indiquer un léger désaccord par rapport à celles de l'expert 1 (figure 40). Par conséquent, nous sommes amenés à dire que, du point de vue des décisions, la modélisation implémentée en machine est sans doute plus conforme au modèle naturel de l'expert 1 qu'à ceux des experts 2 et 3. Ceci nous conduit à poser une question à laquelle nous ne pouvons pas répondre : le modèle le plus adéquat de détermination des décisions de la tarification est-il celui de

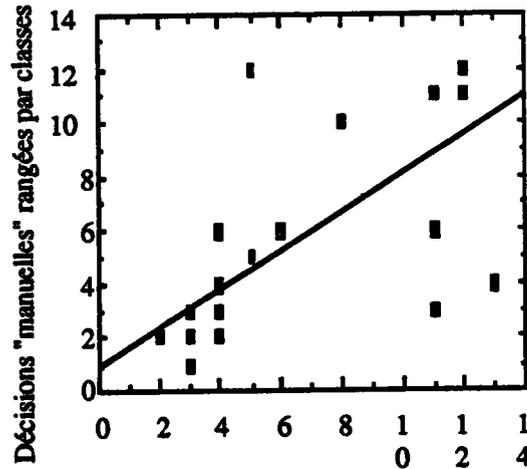
l'expert 1, 2 ou 3 ?

Figure 40. Etude des corrélations entre les décisions des experts (1, 2, 3 et "manuel") rangées par classes et les décisions du systèmes experts rangées également par classes.



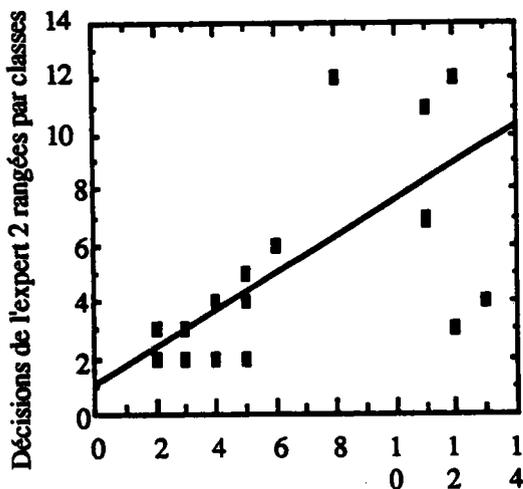
Décisions du système expert rangées par classes

La droite de régression linéaire a pour formule :  $y = 0,53597 + 0,82178 x$  avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,708$



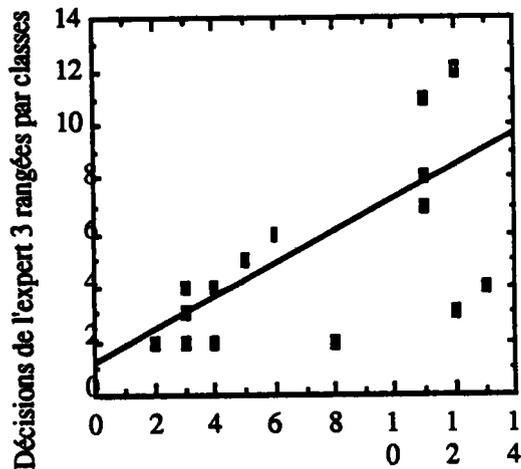
Décisions du système expert rangées par classes

La droite de régression linéaire a pour formule :  $y = 0,98944 + 0,71287x$  avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,513$



Décisions du système expert rangées par classes

La droite de régression linéaire a pour formule :  $y = 1,0977 + 0,65594x$  avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,535$



Décisions du système expert rangées par classes

La droite de régression linéaire a pour formule :  $y = 1,2762 + 0,60396 x$  avec un coefficient de corrélation  $R^2 = 0,533$

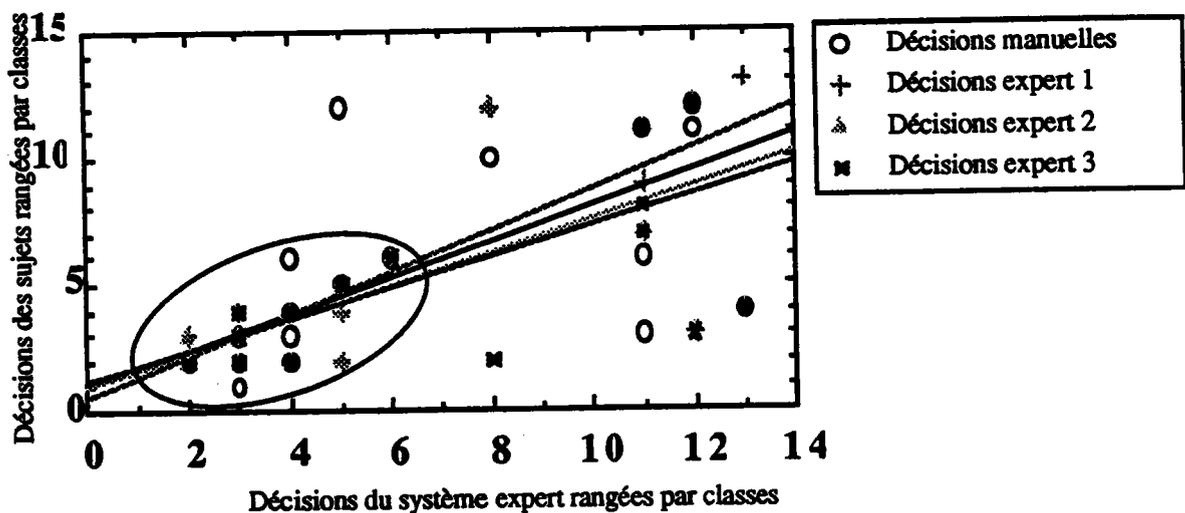
Faute de pouvoir et de vouloir évaluer le savoir médical de chacun des experts, rappelons tout de même que deux éléments attestent la proximité des décisions des experts humains. En premier lieu,

l'accord moyen des décisions est relativement important (2,25) et ce quels que soient les experts. En effet, pour l'expert 1 on obtient : 2,2 avec un écart-type de 1,446, 2,367 pour l'expert 2 avec un écart-type de 1,816, et 2,2 pour l'expert 3 avec un écart-type de 1,641. En second lieu, le cluster des corrélations des décisions des experts (figure 39) tend à notifier que les corrélations sont fortes (toutes largement significatives).

C'est pourquoi il semble qu'il n'y ait pas trois modèles distincts de tarification -un par expert-, mais des modèles, dont les connaissances ont à la fois des points communs et divergents. Ce sont ces divergences qui expliquent, comme nous le verrons plus avant, les motifs des rejets des décisions du système expert.

La figure 41 reprend les figures 39 et 40 en superposant les droites de régressions. Elle indique avec force les corrélations existant entre les experts et le système expert quant aux classes des décisions.

Figure 41. Mise en évidence de la proximité des décisions des experts et de la corrélation de leurs décisions avec celles du système expert.



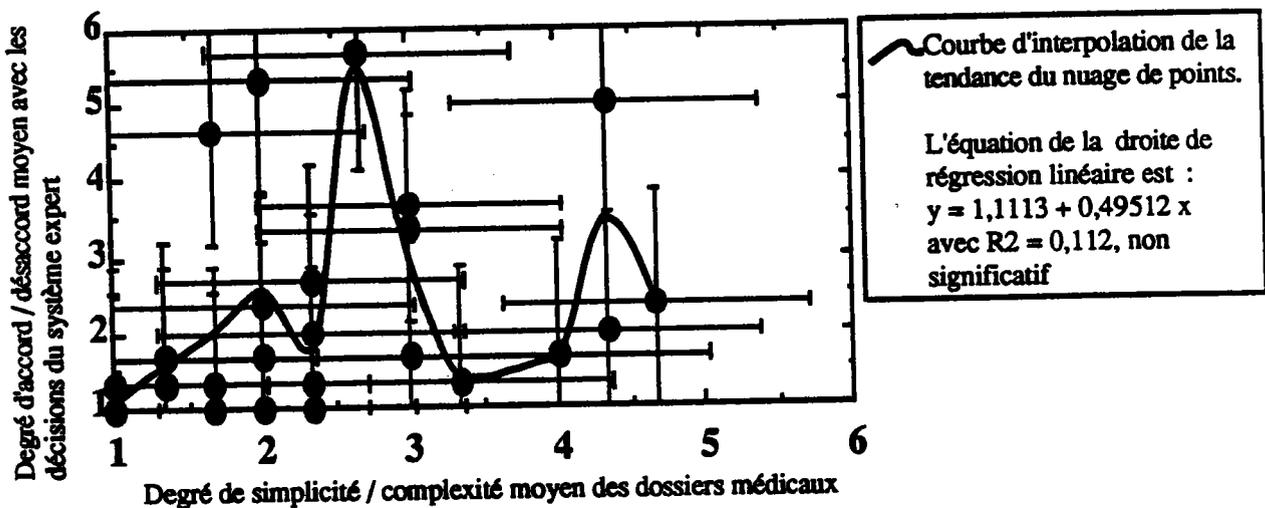
Des figures 40 et 41 se dégage également une structure (de la classe 1 à 7) qui semble indiquer que l'accord des experts avec le système est plus fort lorsque les dossiers conduisent à des décisions de sur-risque plutôt faibles. Ceci semble traduire une meilleure capacité du système à traiter les dossiers dont le sur-risque médical est inférieur à 250%. De plus, il apparaît également que le système expert tend à majorer légèrement sa décision par rapport à celle des experts. Notons cependant que les experts minorent parfois leurs décisions

finale (par rapport à leurs décisions purement médicales) en les adaptant aux types de contrats d'assurance, aux montants des capitaux investis et à la politique commerciale de l'entreprise et de la concurrence.

### *Degré de simplicité / complexité des dossiers et acceptabilité des décisions*

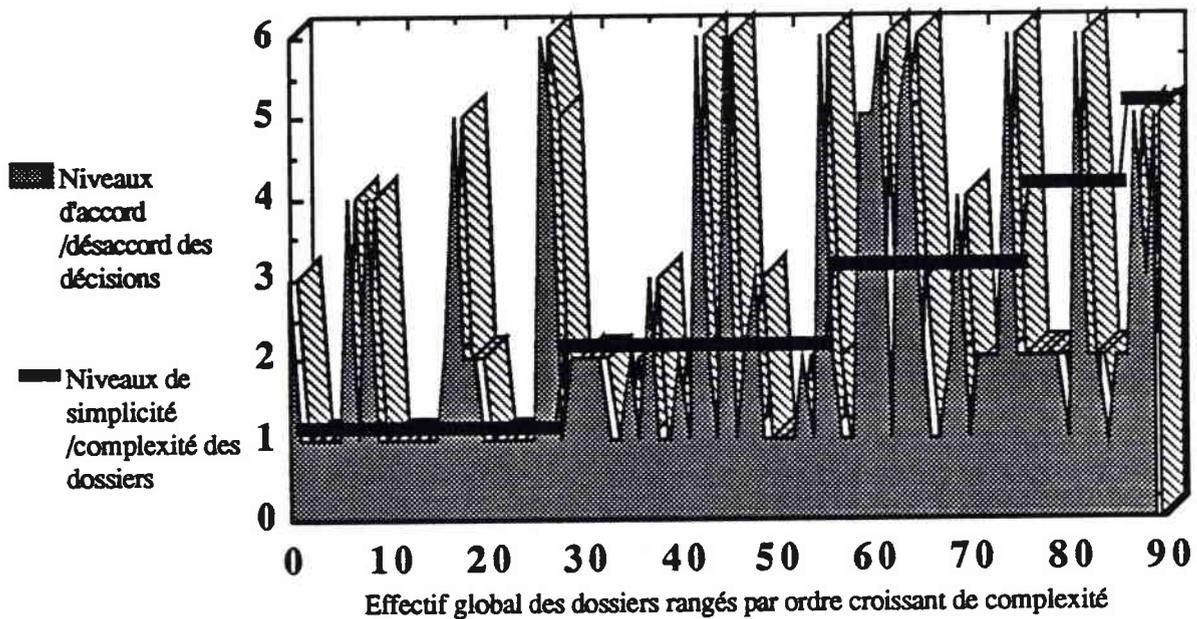
Une question doit encore être abordée : le niveau d'acceptabilité des décisions du système par les experts dépend-il de la complexité des dossiers ? Avant la passation du test, nous présumons qu'AndroMED se comporterait de façon plutôt adéquate dans le traitement des dossiers simples, et de façon plutôt inadéquate lors de la tarification des dossiers complexes. Or, les faits (figure 42) nous ont conduit à infirmer cette hypothèse. En effet, il apparaît que la complexité ou la simplicité d'un dossier n'est pas un facteur d'invalidation partielle des décisions d'AndroMED. La figure 42 indique d'ailleurs que la corrélation entre le niveau de complexité des dossiers et le niveau d'accord des experts avec les décisions du système est faible et non-significative. De plus, la courbe d'interpolation du nuage de points montre que le degré d'accord des experts avec les décisions du système n'est pas a priori dépendant de la complexité des dossiers. Cependant, nous émettons volontiers une réserve à cette interprétation car le nombre de dossiers jugés complexes par les experts est faible (8 dossiers sur 30).

Figure 42. Courbe d'interpolation de la tendance du nuage de points composé par le degré moyen d'accord / désaccord des experts avec la décision du système expert et le degré moyen de simplicité / complexité des dossiers médicaux (Présence des écarts types).



Rapporté à l'ensemble des dossiers traités, il apparaît un léger infléchissement d'AndroMED à traiter les dossiers complexes (figure 43). En effet, alors que le système fournit des décisions acceptables lorsque le degré de simplicité / complexité est compris entre 1 et 4, les experts ne sont plus en accord total quand la complexité est forte (degré 5).

Figure 43. Répartition du degré d'accord / désaccord des experts humains avec les décisions du système expert en fonction du degré de simplicité / complexité des dossiers médicaux (sur l'ensemble des dossiers médicaux traités par les trois experts, soit  $30 \times 3 = 90$ )



En somme, nous avons établi que le système fournit des décisions à la fois jugées acceptables par les experts, et dont l'identité relative à 25% est assez conforme aux décisions des experts. Maintenant, interrogeons nous sur les cas de désaccord entre les décisions des experts et celles de la machine.

***Les origines du manque de compatibilité entre certaines décisions des experts et celles du système***

L'analyse des huit cas où les décisions du système divergent de celles des experts, permet de dégager quatre sources de dysfonctionnement du système.

- (a) Le rejet de la décision d'AndroMED pour cause technique.  
 Dans le cas d'un dossier sur trente, l'erreur de décision de la machine a pour origine la technique. Lors de la tarification d'un dossier, celui d'un candidat obèse mesurant 1,67 mètres pour 157 kilogrammes, le système expert a conclu à une décision erronée pour la simple raison qu'un rapport poids/taille aussi dysharmonieux n'avait pas été envisagé dans la base de connaissances. Faute de trouver un sur-risque à cette obésité, le système s'est complètement "planté" et a proposé une surprime de seulement 20%, ce qui est le cas d'une obésité très légère. Autrement dit, le système a fourni une décision alors que sa base de connaissances ne pouvait le lui permettre. Il n'a pas identifié les limites de ses connaissances et n'a pas identifié qu'il était incapable de traiter ce dossier.
- (b) Le rejet de la décision d'AndroMED pour cause d'inadaptation de certaines règles de production.  
 Dans quatre cas sur trente, les experts ont estimé que les seuils de déclenchement de certaines règles de production étaient inadaptés aux dossiers qu'ils traitaient. C'est ainsi que le système a diagnostiqué une insuffisance rénale alors que pour les experts il ne s'agissait que d'une légère hyperuricémie, puis une intolérance aux hydrates de carbone à la place d'un diabète non insulino-dépendant, et un alcoolisme chronique alors qu'en fait ce n'était qu'une intoxication alcoolique. Mais cette dernière donnée médicale n'était pas présente dans la base de connaissances d'AndroMED. Par conséquent, ce sont les seuils de déclenchement de la règle de production attachée à certains diagnostics qui sont rejetés par les experts. Soulignons que les règles ne sont pas invalidées dans leur forme, mais dans leur contenu. Or, rien n'est plus facile de corriger les seuils de déclenchement des règles en modifiant la base de règles, et ainsi amener la base de règles à un degré de performance plus élevé qu'auparavant.
- (c) Le rejet de la décision d'AndroMED pour cause de pourcentage de tarifications inadaptées.  
 Dans quatre cas sur trente, ce sont les bonnes règles et les bons schémas qui sont activés, mais les experts sont en désaccord

avec les décisions de tarifications qui y sont attachées. Par exemple, l'activation du schéma de la recto-colite hémorragique est sur-primée  $x\%$  par AndroMED, par rapport aux experts qui l'estiment à  $x+50\%$ . Ce ne sont pas les schémas qui sont invalidés, mais les décisions attachées aux prémisses.

- (d) Le rejet de la décision d'AndroMED, car le système ne tient pas compte de la durée du contrat.

Dans un dossier sur trente, le contrat d'assurance-vie ne portait que sur 10 ans. Le candidat étant jeune (35 ans), les experts ont estimé que son hypertension artérielle, bien que très élevée et traitée, n'allait pas entraîner un décès dans les dix ans à venir. Ainsi, ils ont largement minoré le risque associé à l'hypertension artérielle. En revanche, dans ce cas précis, leur degré d'accord avec les justifications du système était fort (2 en moyenne), ce qui tend à indiquer que le système effectue les raisonnements adaptés au problème posé.

Dans tous les cas, ce sont des erreurs locales dans la base de connaissances qui tendent à diminuer l'accord des décisions. Les principes des règles de production ou des schémas d'inférence ne sont pas a priori remis en cause. Les faiblesses du système proviennent d'une part du manque de précision de l'activation de certaines règles de diagnostics et de l'absence de certaines données médicales dans la base de connaissances, notamment l'intoxication alcoolique. Les corrections de la base de connaissances devraient accroître la maturité du système expert par raffinements itératifs.

Globalement, l'acceptabilité par les experts des décisions d'AndroMED tend à montrer que le système fournit des décisions compatibles avec celles des experts. La validation a également souligné les faiblesses du système en indiquant d'une part l'incomplétude relative de sa base de connaissances, et d'autre part la non prise en compte de critères externes à la décision médicale, comme par exemple la durée des contrats.

### 4.3.2. La compatibilité experts / système expert au niveau des justifications

Le paragraphe précédent a fait apparaître le niveau d'acceptabilité des décisions du système expert. Rien n'est établi quant aux cheminement des raisonnements qui conduisent AndroMED à sa décision.

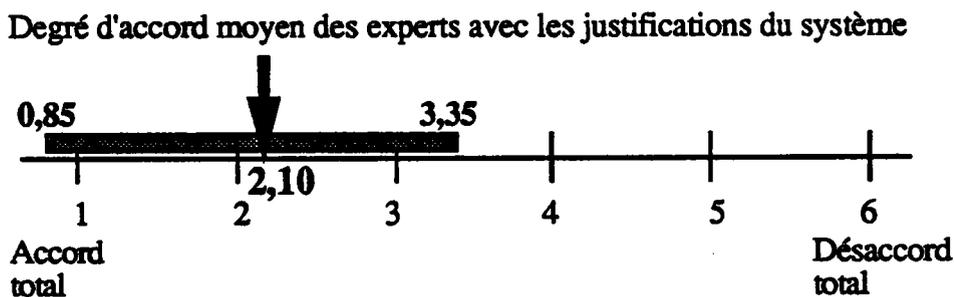
A cette fin, voyons si les experts sont en accord avec les diagnostics et les pronostics du système, autrement dit, si les experts acceptent ou refusent la pertinence des règles de production et schémas d'inférences activés par le système. Ainsi, à partir de la confrontation des justifications des experts avec celles du système, il est possible de valider le modèle d'expertise, en comparant leurs écarts.

A l'instar de l'étude de la compatibilité entre les décisions naturelles et artificielles, nous aborderons l'analyse de compatibilité au niveau des justifications selon trois points. Nous mesurerons tout d'abord le degré d'acceptabilité des justifications du système. Nous étudierons ensuite la capacité du système à justifier des dossiers en fonction de leur degré de complexité. Enfin, nous chercherons à interpréter les origines de l'inadaptation de certaines justifications.

### *L'acceptabilité des justifications*

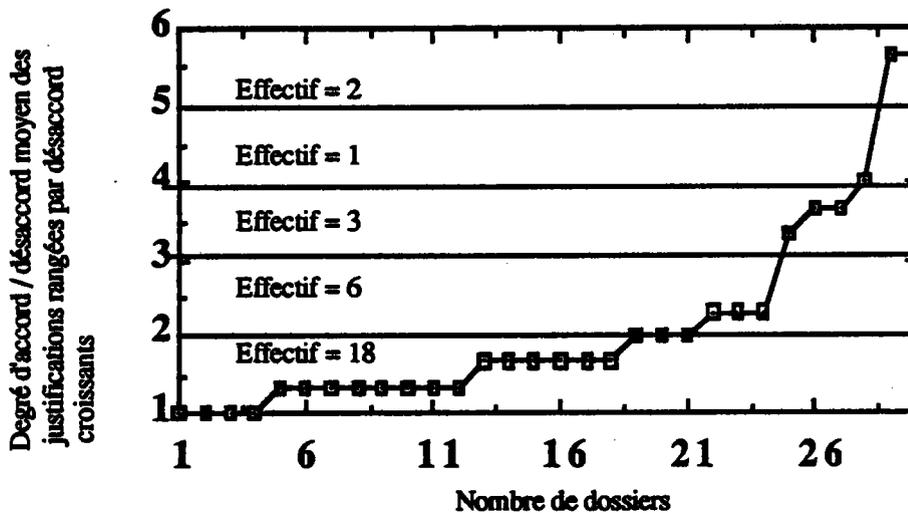
Globalement, les experts estiment que les justifications du système expert sont relativement conformes avec les leurs. Le degré d'accord moyen des experts avec les justifications du système est en effet de 2,1 (figure 44), ce qui tend à montrer qu'il y a un accord fort entre les justifications des experts et celles du système.

Figure 44. Moyenne et écart-type du degré d'accord / désaccord des experts avec les justifications du système expert.



La figure 45 corrobore la figure 44 en soulignant que les experts sont plutôt d'accord avec les justifications du système dans 24 cas sur 30 (valeurs moyennes inférieures à 3) et plutôt pas d'accord dans 6 cas sur 30 (valeurs moyennes supérieures à 3). Ainsi d'une manière large, les experts acceptent les justifications du système expert.

Figure 45. Effectifs des accords / désaccords moyens (moyenne calculée sur les trois experts) des experts humains avec les justifications du système expert.



Qui plus est, le degré moyen d'accord des experts avec les justifications du système est légèrement plus faible que celui des décisions. En d'autres termes, les experts tendent à être plus d'accord avec les justifications du système qu'avec les décisions qu'il prend. Ainsi, ils sont plus d'accord avec les règles et schémas activés par le système qu'avec les décisions associées aux différentes prémisses des schémas d'inférences. Comment faut-il interpréter ceci ?

Et bien, rappelons que les décisions du système sont associées aux prémisses les plus pertinentes. Ainsi, si les experts semblent relativement d'accord avec les prémisses que le système active, et un peu moins d'accord avec les conclusions de tarification associées à ces prémisses, cela signifie qu'ils sont plus d'accord avec le raisonnement suivi par la machine qu'avec les décisions qui ont été associées à ces raisonnements. Le cas d'un des dossiers est tout à fait typique de cette situation. En effet, lors de la tarification d'un dossier comprenant un goitre thyroïdien et une hypertension artérielle, les experts étaient relativement d'accord avec les justifications du système (en moyenne 2 = accord fort), alors qu'ils étaient en profond désaccord avec sa décision (en moyenne 5,33). Autrement dit, le raisonnement de la machine leur semblait adapté, mais sa conclusion n'était pas en adéquation avec la leur.

Plus généralement, tout se passe comme si l'accord avec les décisions et celui relatif aux justifications étaient dissociés. D'ailleurs, la figure 46 indique qu'il n'existe pas de corrélation significative entre

le degré d'accord moyen des décisions et celui des justifications.

Figure 46. Courbe d'interpolation de la tendance du nuage de points composé par le degré moyen d'accord / désaccord des experts avec la décision du système expert et le degré moyen d'accord / désaccord des experts avec les justifications du système expert (Présence des écarts types).

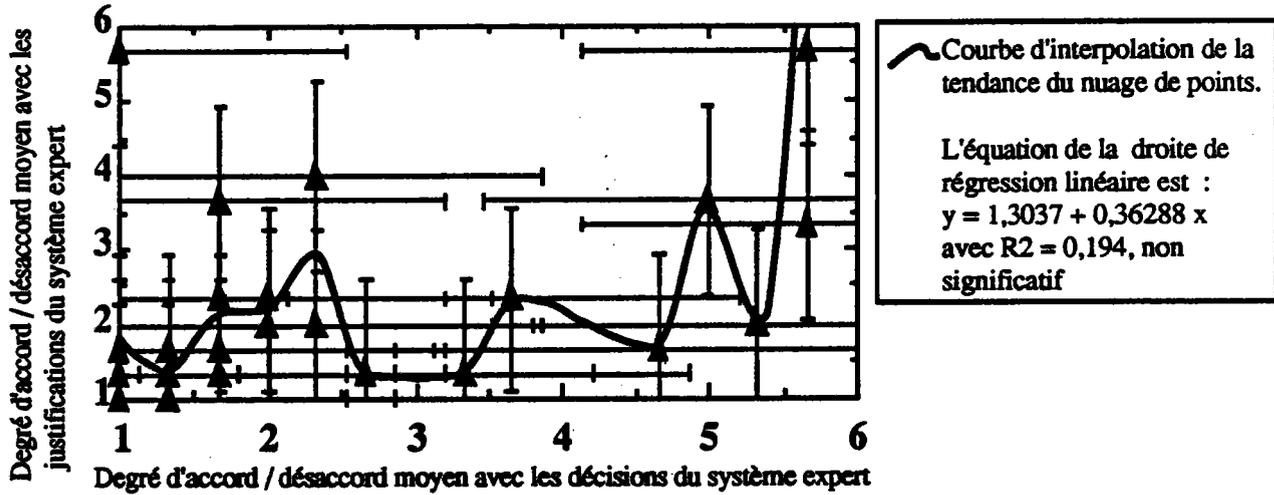
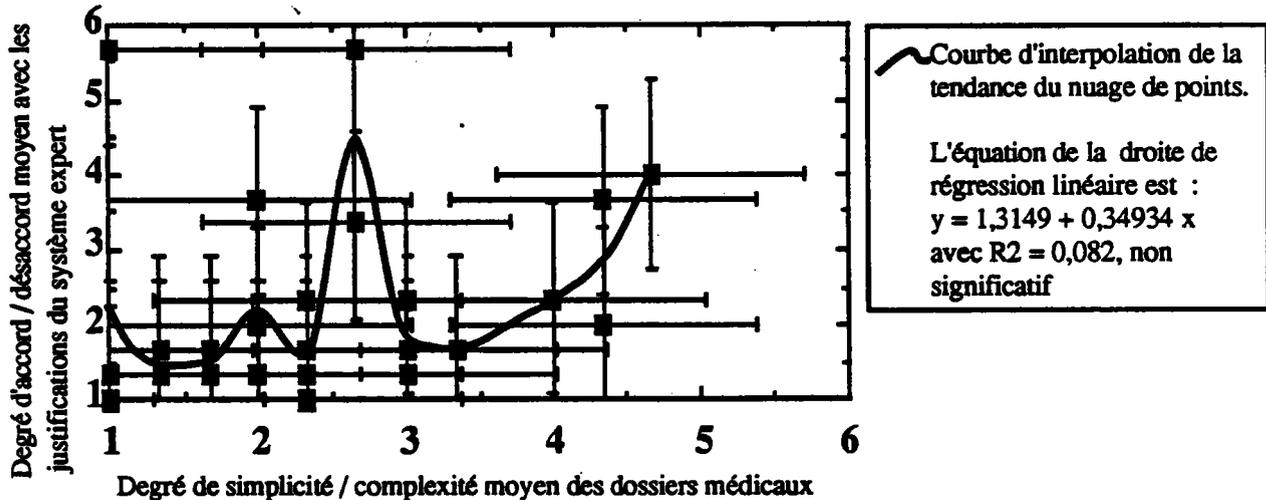


Figure 47. Courbe d'interpolation de la tendance du nuage de points composé par le degré moyen d'accord / désaccord des experts avec les justifications du système expert et le degré moyen de simplicité / complexité des dossiers médicaux (Présence des écarts types).



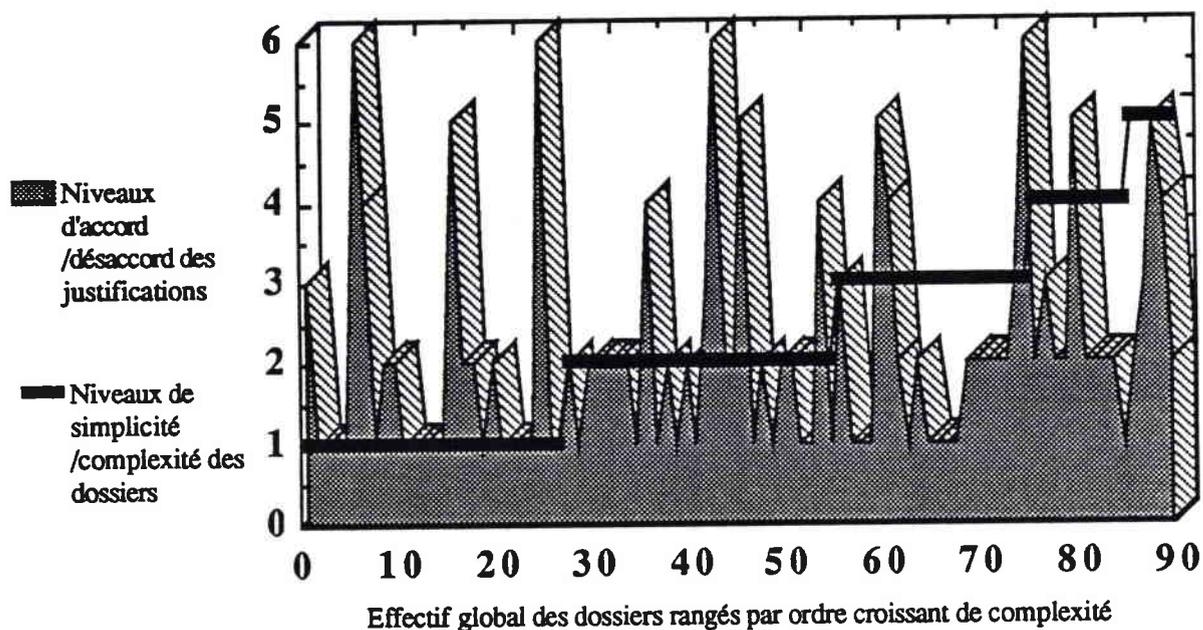
### *Degré de simplicité / complexité des dossiers et acceptabilité des justifications*

Abordons à présent le problème de la capacité du système expert à justifier ses décisions en fonction du degré de complexité des dossiers. Tout comme pour la décision, il semble que l'acceptation par

les experts des justifications ne dépende pas du niveau de complexité des dossiers. La figure 47 renforce cette affirmation.

Malgré l'absence de corrélation, il se dégage une tendance du système à moins bien justifier les dossiers complexes que les dossiers simples (figure 48). Alors que le système se comporte de manière relativement adaptée dans le cas des dossiers plutôt simples (degrés 1, 2 et 3) et de complexité faible (degré 4), les cas des dossiers estimés fortement complexes, bien qu'il n'y en ait que 5, laisse à penser qu'AndroMED les justifie plutôt mal (il n'y a plus d'accord total de la part des experts).

Figure 48. Répartition du degré d'accord / désaccord des experts humains avec les justifications du système expert en fonction du degré de simplicité / complexité des dossiers médicaux (sur l'ensemble des dossiers médicaux traités par les trois experts, soit  $30 \times 3 = 90$ )



Procédons maintenant à l'analyse des dossiers mal justifiés afin de déterminer les caractéristiques du manque d'adéquation entre les justifications d'AndroMED et celles des experts.

#### *Les origines du manque de compatibilité entre les justifications du système et celles des experts*

On repère trois sources de rejet parmi les six dossiers dont les justifications sont en désaccord avec celles des experts.

- (a) Le rejet de la justification d'AndroMED pour cause technique.  
Dans un cas sur trente (le dossier précédemment cité où le rap-

port poids / taille n'était pas prévu dans la base de connaissances) le système expert s'est "planté" tant au niveau des décisions que des justifications.

- (b) Le rejet de la justification d'AndroMED pour incomplétude de la base de connaissances.

Dans deux cas sur trente, la base de concepts du système expert s'est avérée incomplète. C'est notamment le cas de l'intoxication alcoolique, forme mineure de l'alcoolisme chronique, qui n'était pas saisie dans la base de connaissances. De ce fait, les justifications du système ne pouvaient pas être adaptées aux cas traités.

- (c) Le rejet de la justification d'AndroMED pour cause d'erreur ou d'incomplétude de formalisation.

Dans trois cas sur trente, le manque de compatibilité entre les justifications du système et celles des experts provient de l'incomplétude de sa base de connaissances. Illustrons cette carence par un exemple. Lors de la tarification d'un des dossiers, les décisions des trois experts furent parfaitement identiques avec celles de la machine, alors que les justifications ont un degré moyen de désaccord fort (5,66).

Ce dossier présentait 25 données médicales et sa tarification par le système a nécessité l'activation de 4 règles de productions et de 4 schémas d'inférences. Ainsi, il représente un exemple assez typique du problème de la combinaison des données médicales, notamment des affections cardio-vasculaires, avec la présence d'une hypertension artérielle, des affections métaboliques exprimées par un diabète, des affections rénales attachées à une insuffisance rénale et enfin des affections digestives avec une cirrhose. Voyons comment le système, puis ensuite les experts, ont résolu ce dossier. AndroMED a d'abord déclenché des règles de production qui lui ont permis de déterminer quatre diagnostics, que les experts ont reconnus exacts. Puis procédant au pronostic, AndroMED a activé quatre schémas d'inférences. Le premier, celui du diabète, a tout d'abord précisé les spécifications du diabète en indiquant que ce dernier était d'une gravité modérée. Ensuite, il a déterminé que l'insuffisance rénale était une complication du diabète et devait être tarifée en tant que telle. Ce schéma d'inférences a également associé l'hypertension artérielle au diabète non insulino-dépendant en établissant que l'hypertension était un facteur de risque. De la sorte, l'activation du schéma d'inférences du diabète a conclu sur la décision de refuser le dossier. Par ailleurs, l'activation des autres schémas est venue renforcer cette décision. En somme, pour

AndroMED c'est principalement le schéma d'inférence du diabète qui permet de prendre une décision, car c'est le schéma le plus pertinent dans le sens où c'est lui et lui seul qui autorise le plus d'inférences. Or pour les trois experts, ce raisonnement est erroné. En effet selon eux, l'origine du profil pathologique du client ne vient pas de son diabète mais de sa cirrhose. Ainsi, pour les experts, la cirrhose est la forme principale d'une pathologie complexe, compliquée par un diabète non insulino-dépendant, et appréciée par une insuffisance rénale. Dans le même temps, l'hypertension artérielle est un facteur de risque du diabète. De plus, l'insuffisance rénale vient aussi compliquer l'hypertension artérielle. En somme pour les experts, le schéma le plus pertinent est celui de la cirrhose car il autorise toutes les inférences citées ci-dessus. A propos de ce cas, nous remarquons que les schémas d'inférences ne sont pas discrédités par les experts, mais ces derniers estiment que, faute d'être complète, la base de schémas a activé un schéma qui n'était pas le plus pertinent vis à vis du problème abordé.

*La quantité de connaissances d'un système expert fait bien souvent sa qualité.*

Globalement, le manque de compatibilité entre les justifications des experts et celles de la machine ont deux origines : soit le système expert ne dispose pas des connaissances qui lui sont nécessaires pour tarifer, soit il les a, mais leurs activations à travers des règles ou des schémas ne correspondent pas aux connaissances les plus pertinentes, qui elles, sont identifiées par les experts. L'analyse des erreurs de justification met donc en lumière le problème de la mise à jour de la base de connaissances du système, tâche que les experts doivent régulièrement effectuer. Par conséquent la passation du test de validation, et plus largement l'utilisation du système expert, constituent des lieux de productivité intellectuelle qui devraient servir à amener la base de connaissances à un niveau d'efficacité de plus en plus acceptable.

En somme, le modèle n'est pas invalidé. En revanche, l'étude des erreurs de justification montre que dans certains cas, les opérateurs cognitifs mis dans les schémas ne sont pas les plus adaptés, ou encore que les schémas activés par le moteur d'inférences ne sont pas les plus pertinents, pour la simple raison que la machine ne dispose pas toujours des plus pertinents possibles. Néanmoins, cette lacune devrait être remédiée par la mise à jour régulière de la base de connaissances.

D'une façon large, la compatibilité entre les justifications du système expert (malgré leur aspect laconique et fragmentaire) et celles

des experts humains est estimée acceptable. La validation a permis de détecter des erreurs de raisonnements qui s'expriment par des justifications inappropriées. C'est pourquoi le test régulier du système expert, vue comme une situation de production d'expertise, devrait améliorer son caractère opérationnel.

### 4.3.3. Conclusion

La validation des systèmes experts constitue une recherche en soi. Elle requiert des instruments de mesure tant méthodologiques que statistiques, et doit constituer une approche objective de la confrontation entre les modèles naturels et artificiels. Dans le cadre de cette thèse, nous n'avons abordé que la validation intrinsèque de la modélisation en nous limitant à l'acceptabilité des décisions et des justifications du système expert par un groupe composé de trois experts humains.

Dans son état au cours du test, AndroMED a permis d'offrir une compatibilité avec les décisions et les justifications des experts suffisamment satisfaisante pour qu'il puisse assister les tarifcateurs dans leurs tâches quotidiennes. Par ailleurs, la pratique de tests et l'utilisation du système devraient, par un processus d'induction, accroître les capacités du système à déboucher sur des décisions et des justifications identiques à celles des experts humains. Pour élargir la portée du système, il conviendra d'impliquer régulièrement des experts dans la mise à jour de la base de connaissances. Ceci aura sans doute pour effet de compléter les connaissances du système et réflexivement "celles" des utilisateurs. Ceci nous permettra ultérieurement d'apprécier le gain de productivité intellectuelle engendré par la mise en place du système expert.

Par ailleurs, rappelons avec force que la validation intrinsèque n'est qu'un aspect d'une démarche de validation, et que la validation ultime d'un système expert "s'inscrit dans l'utilisation qui en est faite" (Gonzalez et Faure, 1988). C'est délibérément que nous avons choisi de ne pas aborder ce point, sachant que nous avons déjà traité ces questions dans deux articles (Brangier et al., 1988 ; Fischer et al., 1990).

Soulignons de plus que le test ne valide pas la modélisation de la cognition, il ne valide que son acceptabilité par les experts. C'est dans ce sens, et dans ce sens seulement que nous soutenons que la compatibilité cognitive entre les experts et la machine est relativement satisfaisante. N'oublions pas, comme le rappellent Gras

et Poirot-Delpech (1989) que : "L'outil informatique simule moins notre activité mentale qu'il ne reproduit des comportements. La méthode heuristique utilisée pour la réalisation des systèmes experts se fonde de plus en plus sur l'observation des spécialistes ou des situations qu'une machine retranscrit en termes algorithmiques sans passer par la conscience du sujet. On peut ainsi reproduire en simulateur aussi bien des «mouvements» d'avions pris dans les tourmentes de vent que des «attitudes» de pilotes exposés aux mêmes conditions. L'intelligence artificielle, dans ce cas, n'est qu'une reproduction d'apparences, en aucun cas on peut dire qu'elle équivaut à une activité mentale." Et de plus n'occultons pas non plus que lorsqu'AndromED répond vite et correctement, il va plus vite dans des situations standardisées : "l'intelligence artificielle ne répond pas plus vite, elle répond plus vite aux événements déjà prévus." (Gras et Poirot-Delpech, 1989).

---

## 5. CONCLUSION GENERALE

---

*La conclusion permettra de revenir sur les trois principes d'élaboration d'un système expert : la catégorisation formelle des connaissances, l'activation et la manipulation des connaissances selon le principe de pertinence, et la compatibilité cognitive entre le modèle artificiel et le modèle naturel. Enfin, nous envisagerons deux prolongements à notre travail.*

Un des principaux acquis de cette recherche réside dans la mise en évidence de trois processus qui régissent la modélisation de la cognition : la catégorisation des connaissances, l'activation des connaissances, et enfin la compatibilité entre le modèle naturel et le modèle artificiel.

*La catégorisation des connaissances a établi des relations entre les concepts.*

Nous avons ainsi montré que la catégorisation des connaissances permet de dégager des relations hiérarchiques entre les concepts, et des relations de dépendance conceptuelle entre les catégories. Cependant, même si elle s'avère nécessaire, la catégorisation n'offre que peu d'éléments sur l'activation des connaissances, si ce n'est ses propriétés inductives et déductives décidant de l'appartenance ou de la non-appartenance d'un concept à une catégorie. De plus, la catégorisation engendre une restriction prototypique des concepts, consistant à figer une signification et une seule d'un concept dans la base de connaissances ; alors que, comme nous l'avons indiqué, le sens d'un concept est lié au contexte de son apparition. C'est ainsi qu'en faisant varier le contexte de la bradycardie par exemple, celle-ci peut devenir une donnée pathologique ou normale. Autrement dit, sa signification est tantôt dépendante des propriétés dont elle hérite de par son appartenance catégorielle, et tantôt liée aux autres données médicales du dossier.

***La modélisation des raisonnements a dégagé un formalisme à base de règles de production et de schémas d'inférences.***

Nous avons également montré que la modélisation des raisonnements ne peut se restreindre à la seule manipulation de concepts par des formes logiques, bien que l'activité de diagnostic nous ait conduit à proposer une telle formalisation à base de règles de production. En effet, une partie des connaissances sont manipulées parce qu'elles ont des possibilités d'inférences qui leur confèrent un statut de connaissances pertinentes. Nous les avons modélisé sous la forme d'opérateurs cognitifs. Ces derniers sont dotés de contenus sémantiques, logiques et syntaxiques qui permettent aux connaissances de transformer leur signification en modifiant leur contenu, leur valeur et leur forme. Les opérateurs cognitifs sont en quelque sorte des "boîtiers" mettant en relation des prémisses et débouchant soit sur l'activation d'une prémisse plus pertinente, soit sur une décision (ou conclusion), soit sur les deux à la fois. Ces opérateurs se structurent sous forme de schémas, dont l'activation suit une stratégie cognitive systématique : celle de la recherche constante de la pertinence. Le parcours des schémas d'inférences indique d'une part les possibilités d'inférences du dispositif cognitif, et d'autre part les valeurs de certitude ou de plausibilité des connaissances activées. De plus, les opérateurs situés dans les schémas déterminent des conditions de poursuite ou d'arrêt de l'activation du ou des schémas. Ces conditions proviennent des propriétés sémantiques, logiques et syntaxiques des opérateurs et de leurs combinaisons au sein d'un schéma. Finalement, une architecture cognitive et logicielle du système expert a été établie et implémentée. Elle repose sur une base de connaissances constituée d'une base de concepts et de catégories de concepts, d'une base de règles liées à l'activité de diagnostic, et d'une base de schémas liée à l'activité de pronostic. La base de connaissance est activée par deux moteurs d'inférences ; l'un est destiné au diagnostic l'autre au pronostic.

***La compatibilité entre les modèles naturels et artificiel est globalement acceptée.***

Enfin, nous avons procédé à la validation intrinsèque de la modélisation par un test en double aveugle confrontant les décisions et justifications des experts à celles du système. De la sorte, la compatibilité entre le modèle naturel et artificiel est jugée acceptable par les experts humains. Ce test a indiqué les forces du système (ses capacités à décider et à justifier de façon honorable) ainsi que ses faiblesses tant au niveau technique qu'au niveau cognitif.

*La modélisation de la cognition est envisagée sous la forme d'un circuit programmable.*

La modélisation de la cognition est vue comme la conception d'une architecture fonctionnelle des concepts et raisonnements de l'expert. Elle consiste en un circuit programmable dans lequel les connaissances sont organisées en catégories. Les concepts des catégories sont reliés par des relations de subordination, allant d'une classe supérieure à une spécification de concept. Les catégories sont reliées entre elles par des relations de dépendance conceptuelle. Ces connaissances sont également organisées par des schémas et par des règles qui, une fois activés, visent à restituer une expertise comparable à celle d'un expert humain. La prise de décision est conçue comme un processus de recherche d'informations pertinentes dans le réseau constitué par les schémas activables.

*Lorsqu'il s'agit de modéliser et de simuler des comportements et raisonnements estimés intelligents, la psychologie et l'intelligence artificielle sont complémentaires l'une de l'autre.*

Dans notre recherche la modélisation de la cognition est abordée sous l'angle des processus en oeuvre dans l'activité de prise de décision, à l'inverse des recherches en intelligence artificielle qui se centrent sur l'étude du contenu de l'expertise. Elle insiste plus sur les processus de l'expertise que sur son contenu. Cependant, comme le notent Faure et Gonzalez (1989), le clivage entre l'étude du contenu de l'expertise et celle de ses processus "correspond davantage à des points de vue différents sur un domaine d'activité qu'à des composantes bien distinctes de l'expertise elle-même". Ces différentes démarches, loin de souligner les divergences entre les deux disciplines, indiquent leur incomplétude. Seules, elles ne peuvent pas aborder dans leur globalité la connaissance et la communication. Par contre, mises en perspective dans une approche pluridisciplinaire, la psychologie et l'intelligence artificielle peuvent espérer résoudre des problèmes relatifs à la communication et à la connaissance. C'est aussi cela que cette thèse a souligné.

Quant aux perspectives sur lesquelles peuvent déboucher cette recherche, il semble que deux types de travaux soient envisageables. Le premier, orienté sur la recherche expérimentale viserait à infirmer ou confirmer (ou au moins à enrichir) la notion d'opérateur cognitif par un protocole expérimental. Ce dernier pourrait consister en une situation expérimentale de résolution de problème où les sujets seraient amenés à prendre une décision en fonction de concepts ayant ou non des contenus sémantiques, logiques, et syntaxiques. Si effectivement, les sujets disposant pour résoudre le problème, de concepts ayant des formes sémantiques, logiques et syntaxiques, fournissent des solutions plus adaptées que les autres alors, il faudrait sans doute admettre que la notion d'opérateur cognitif représente une caractérisation des processus cognitifs. Bien évidemment, le protocole d'une telle expérience

serait à affiner afin d'obtenir des résultats extensibles à d'autres situations de décision que celle de l'expérience. La seconde perspective, centrée sur la recherche appliquée consisterait en un système d'aide à la modélisation des connaissances destiné à assister le cognitif dans sa tâche. Sans entrer dans les détails d'un tel système, ce qui serait une autre thèse, il nous faut souligner que ce champ de recherche est aujourd'hui en pleine effervescence. A ce propos, la notion d'opérateur cognitif pourrait fournir une grille pour saisir et activer rapidement les connaissances d'un expert humain. De la sorte, l'expert pourrait assez vite disposer d'une maquette de système, qu'il pourrait faire évoluer.

Cependant, il faudra encore attendre quelques temps pour obtenir de tels systèmes de recueil de connaissances, tant les problèmes posés à l'ingénierie cognitive sont importants. Aussi, les recherches qualitatives sur le terrain dans le domaine de l'expertise étant encore trop peu nombreuses, la modélisation présentée dans cette thèse, bien que parcellaire, pourra sans doute être utilisée pour l'élaboration d'une théorie plus générale, du moins c'est ce que nous espérons.

---

# BIBLIOGRAPHIE

---

ABDI, H., (1986).- La mémoire sémantique, une fille de l'intelligence artificielle et de la psychologie : quelques éléments biographiques...- *Psychologie, automatique et intelligence artificielle*, BONNET, C., HOC, J-M., TIBERGHEN, G., (Eds), Bruxelles : Pierre Mardaga, 139-151.

ABRETT, G., BURSTEIN, M., H., (1987).- The KREME knowledge editing environment.- *International journal of man-machine studies*, Vol 27, 103-126.

AJANSTAT J., FRENETTE, M., BASTIEN, M., (1990).- Validation d'un système expert d'aide à l'intervenant social.- *Actes du colloque CECOIA2*, Paris : AFCET, 4-6 Juillet, 207-212.

ALEKSANDER, I. (1985) - La conception des systèmes intelligents - Paris : Hermès, 165.

ALSENE, E., (1990).- Les impacts de la technologie sur l'organisation.- *Sociologie du travail*, n°3, 321-337.

ALTER, N., (1985).- *La bureautique dans l'entreprise, les acteurs de l'innovation*.- Paris : Les éditions ouvrières, 200.

ALZERA, C., CHARDAVOINE, R., EKSL, R., SOLE, A., (1983). - Informatisation, situation de travail et situations d'acteurs.- *Recherche économique et sociale*, n°6-7, 2ème et 3ème trimestres, 88-107.

AMALBERTI, R., CARBONELL, N., FALZON, P. (1988).- Communication orale homme-homme et communication orale homme-machine : un modèle ?.-*Actes du 3ème colloque international Cognition et Connaissance, Où va la science cognitive ?* Toulouse 9-11 Mars 1988, 231-246.

ANDERSON, J.R., (1983).- *The architecture of cognition*.- Cambridge : Harward University Press.

ANDERSON, J.R., (1989).- Theory of the origins of human knowledge.- *Artificial intelligence*, 40, 313-351.

ANDLER, D., LIVET, P., (1989).- Psychologie. Les sciences cognitives : l'émergence d'une nouvelle constellation.- *Thèmes et problèmes, Encyclopédie Universalis*, 341-344.

BALLE, C., PEAUCELLE, J-L., (1972).- *Le pouvoir informatique dans l'entreprise*.- Paris : les éditions d'organisation, 190..

BARTHELEMY, S., BRUNET, E., WALLYN, A., (1988). La méthodologie KADS, vers le développement industriel des systèmes à base de connaissances, *Communication au Forum'IA 88*, 11, 12 et 13 Octobre, Paris, 15.

- BARTHET, M-F., (1984).- Conception de logiciel d'interface homme-machine.- *Colloque de Nivelles : l'ordinateur, l'homme et l'organisation*, 5-7 Décembre, 9.
- BARTHET, M-F., SEBILLOTTE, S., (1987).- Les principales techniques de recueil de données en ergonomie des logiciels - *Ergonomie des logiciels : un atout pour la conception des systèmes informatiques*, Paris : La documentation française, sous la direction de ALZERA, C., CHRISTOL, J., FALZON, P., MAZOYER, B., PINSKY, L., et SALEMBIER, P., 41-46.
- BARTHET, M.F., (1988).- *Logiciels interactifs et ergonomie, modèles et méthodes de conception*.- Paris : Dunod, 219.
- BASTIEN, C., (1986).- Connaissance et stratégie de traitement dans la résolution de problèmes.- *Bulletin de Psychologie*, tome XXXIX, 375, 333-335.
- BEAUVOIS, J-L., DESCHAMPS, J-C., (1990).- Vers la cognition sociale.- *Traité de psychologie cognitive, tome 3*, GHIGLIONE, R., BONNET, C., RICHARD, J-F., (Eds), Paris : Dunod, 1-110.
- BEAUNE, J-C., (1980).- *L'automates et ses mobiles*, Paris : Flammarion.
- BENCHIMOL, G., LEVINE, P., et POMEROL, J-C (1986).- *Les systèmes expert dans l'entreprise*.- Paris: Hermès, 212.
- BENSAID-SINGERY J., SINGERY, J., (1979).- Les incidences de l'informatique sur l'évolution du travail administratif.- *Le travail humain*, 2, 193-200.
- BETTS, B., BURLINGAME, D., FISCHER, G., FOLEY, J., GREEN, M., KASIK, D., KERR, S. T., OLSEN, D., THOMAS, J. (1987).- Goals and objectives for user interfaces software.- *Computer Graphics*, 21, 2, 73-78.
- BIRD, E., (1981).- Impact des progrès en télécommunications sur les méthodes futures de travail.- *Journal des télécommunications*, vol. 48, 77-87.
- BISSERET, A., (1982).- Pour une psychologie ergonomique des systèmes documentaires.- *Cours de la commission des communautés européennes, Informatique et information scientifique et technique*, INRIA, 1982, Cap d'Agde, 13-24 Septembre, 11.
- BISSERET, A., (1984).- L'assistance à la résolution de problème dans la supervision de processus.- *Intellectica*, vol 1, n°1, 1-20.
- BISSERET, A., (1985).- Les hommes et l'informatique.- *Le Monde de l'informatique*, 1985, 28 Octobre, 43-46.
- BISSERET, A., BOUTIN, P., MICHARD, A., (1979).- Eléments introductifs à l'ergonomie des systèmes homme-machine.- *Informatique et sciences humaines*, 11ème année, n°44, 13-34.
- BLAVIER, A., (1988).- Réalisation d'un générateur interactif de menus.- Mémoire de DESS Informatique et applications aux sciences de la vie, Ecole des hautes études en informatique, Paris : Université de Paris 5, 65.
- BLOOMFIELD, J., R., SHALIN, V., L., (1989).- Knowledge acquisition techniques : problems and potentialities.- *Proceeding of Contemporary ergonomics*, 3-7 April, 165-171.
- BODEN, M., A., (1987).- Impacts of artificial intelligence.- in *Impacts of artificial intelligence*, TRAPPL, R., (Ed), Amsterdam : Elsevier, 64-77.
- BONNET, C., HATON, J-P., TRUONG NGOC, J-M. (1986).- *Les systèmes experts, vers la maîtrise technique*.- Paris : InterEditions, 288.

- BOOSE, J., H., (1985).- A knowledge acquisition program for expert systems base on personal construct psychology.- *International Journal of man-machine studies*, 23, 495-525.
- BOOSE, J., H., (1986).- *Expertise transfer for expertise system design*.- New-York : Elsevier, 312.
- BORILLO, M., (1984).- *Informatique pour les sciences de l'homme, limites de la formalisation du raisonnement*, Bruxelles : Pierre Mardaga Editeur, 211.
- BOUSQUET, N., GRANDGERARD, C., ROUANET-DELLENBACH, J., (1979).- Attitude à l'égard de l'informatisation par niveaux de formation et par niveaux hiérarchiques.- *Le travail humain*, 2, 201-210.
- BRANGIER, E., (1990).- Ergonomie des logiciels : approche psycho-ergonomique des interactions homme-logiciel.- *Cahier de notes documentaires*, INRS, 2ème trimestre, 139, 391-404.
- BRANGIER, E., FISCHER, G.N., (1989).- Analyse de quelques contraintes au recueil d'expertise, *Communication au FORUM IA 88*, 13, 14 et 15 Décembre 1989, 15.
- BRANGIER, E. et PREZ, P., (1988).- L'impact d'un système expert dans un environnement socio-organisationnel.- Paris, *Communication au FORUM IA 88*, 11 Octobre 1988, 14p.
- BRANGIER, E., PREZ, P. (1988).-Quelques aspects sociaux de l'implantation d'un système expert dans une entreprise .- *Le Journal de l'intelligence artificielle*, Décembre, 3-7.
- BREMOND, G., (1983).- *La révolution informatique*, Paris : Hatier, 318.
- BRETON, P., (1989).- Les créatures artificielles.- *L'imaginaire des techniques de pointes*, GRAS, A., POIROT-DELPECH, S.L., (Eds), Paris : L'harmattan, 53-70.
- BREWER, W.F., DUPREE, D.A., (1983)..- Use of plan schemata in the recall and recognition of goal directed actions.- *Journal of experimental psychology, learning, memory and cognition*, 9, 1, 117-129.
- BROWN, C. M. L. (1988).- *Human-computer interface design guidelines*.- Ablex : Norwood, 236.
- BROWNE, D.P., SHARRATT, B.D., NORMAN, M.A., (1986).- The formal specification of adaptive user interfaces using command language grammar.- *CHI'86, Conference proceedings*, Boston : ACM, 256-260.
- BUCHANAN, B.G., SUTHERLAND, G.L., FEIGENBAUM, E.A., (1969).- Rediscovering some problems of artificial intelligence in the contexte of chemistry.- *Machine Intelligence 5*.- Edinburg : University press, 78-86.
- BURTON, A., M., SHADBOLT, N., R, RUGG, G., HEDGECOCK, A., P., (1988).- Knowledge elicitation techniques in classification domains.- *Proceedings of the 8th ECAI*, 85-90.
- CAIL, F., (1986).- Présentation de l'information sur écran de visualisation.- *Cahiers de notes documentaires*, INRS, 2è trimestre, n°123, 193-200.
- CARD, S., K., HENDERSON, A., Jr. (1987)- A multiple virtual workspace interface to support user task switching, document ronéotypé.,7.
- CARD, S., K., MORAN, T., P., NEWELL, A. (1983).- *The psychology of human-computer interaction*.- Hillsdale : LEA, 469.

- CARROLL, J. (1984).- Mental models and software human factors : an overview, *Research report IBM Watson Research Center, Yorktown Heights.*
- CAVERNY, J-L., (1986).- Les protocoles verbaux comme observable des processus cognitifs.- *Colloque Annuel, section de Psychologie expérimentale, Société Française de Psychologie.- Activités Cognitives: modèles de processus et niveaux d'observation.- Aix-en-Provence, Mars 1986*
- CHABAUD, C., SOUBIE, J-L., (1990).- Modèle de validation psychologique des systèmes à base de connaissances.- *Actes du Colloque Ergo'IA90, Biarritz, AFCET : Paris.*
- CHANARON, J-J., PERRIN, J., (1986).- Science, technologie et modes d'organisation du travail.- *Sociologie du travail, XXVIII, 1, 23-40.*
- CHANDON, J-L., (1985).- Logiciels : l'obsolescence permanente.- *Revue française de gestion, Septembre Décembre, 168-176.*
- CHAUCHAT, H., (1985).- *L'enquête psycho-sociale, Paris : PUF, 250.*
- CHRISTOL, J., (1987).- Les logiciels, un travail pour l'ergonome? - *Ergonomie des logiciels : un atout pour la conception des systèmes informatiques, Paris : La documentation française, sous la direction de ALZERA, C., CHRISTOL, J., FALZON, P., MAZOYER, B., PINSKY, L., et SALEMBIER, P., 11-14.*
- CICOUREL A.V., (1979).- *La sociologie cognitive. Paris : PUF, traduction de 1972, 238.*
- CICOUREL, A.V., (1987).- Spécialisation des marqueurs et spécificité des opérations de reformulation, de dénomination et de rectification.- *La dame de Caluire : une consultation, Berne : Peter Lang, 99-122.*
- CODOL, J-P., (1988).- Qu'est que le cognitif?.- *Hermès, cognition, communication, politique, 3, 172-178.*
- COOKE, N., M., McDONALD, J., E., (1986).- A formal methodology for acquiring and representing expert knowledge.- *Proceedings of the IEEE, 74, n°10, October, 1422-1430.*
- CORDIER, M-O., (1987).- Les systèmes experts.- *La recherche en intelligence artificielle, Paris : Seuil, 177-209.*
- COUTAZ, J., (1988).- De l'ergonomie à l'informaticien : pour une méthode de conception et de réalisation des systèmes interactifs.- *Ergo IA 88, Actes du colloque de Biarritz, 201-221.*
- COUTAZ, J., (1989).- Architecture models for interactive software.- *ECCOP 89, Proceedings of the third european conference on object-oriented programming, 383-399.*
- COUTAZ, J., (1990).- *Interfaces homme-ordinateur, conception et réalisation, Paris : Dunod, 455.*
- CROZIER, M., (1963).- *Le phénomène bureaucratique, Paris : Seuil, 382.*
- CROZIER, M., (1980).- Y a-t-il une stratégie d'introduction de l'informatique?.- *Actes du colloque international informatique et société, Paris : La documentation française, volume 1.*
- CROZIER, M., FRIEDBERG, E., (1977).- *L'acteur et le système, Paris : Seuil, 488.*
- CURIEN, H., (1988) sous la direction.- *Informatique et société, des chercheurs s'interrogent - Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble, 300p.*

- DAVIS, R., (1977).- Interactive transfer of expertise : acquisition of new inference rules.- *Proceedings of IJCAI*, 321-328.
- DEFAYS, D., (1988).- *L'esprit en friche, les foisonnements de l'intelligence artificielle.*- Bruxelles : Mardaga.
- DENIS, H., (1987).- Technologie et société, essai d'analyse systémique.- Montréal : Editions de l'école polytechnique de Montréal, 242.
- DREYFUS, H., L., (1984).- *L'intelligence artificielle, mythes et limites*, Paris : Flammarion, 439.
- ECREMENT, B., WASSERMAN, F., (1986).- *Les systèmes experts*, Documents roénotypé, 66.
- ELKERTON, J., WILLIGES, R.C., (1989).- Dialogue design for intelligent interfaces.- *Intelligent interfaces.*- Amsterdam : North-Holland, HANCOCK, P.A., and CHIGNELL, M.H., (Eds), 213-264.
- ERALY, A., (1986.- L'informatique comme problème d'organisation.- *Informatique et organisation.*- Edité par Luc WILKIN, Bruxelles : Editions de l'Université de Bruxelles, 1986, 23-30p.
- ESCARABAJAL, M-C., (1988).- A propos de la validité des modèles de simulation de processus.- *Psychologie cognitive : modèles et méthodes*, CAVERNI, J-P., BASTIEN, C., MENDELSON, P., TIBERGHEN, G., (Eds).- Grenoble : PUG, 427-442.
- ESHELMAN, L., (1988).- MOLE : A knowledge-acquisition tool for cover-and-differentiate systems.- *Automating knowledge acquisition for expert systems*, MARCUS, S., (Ed), Boston : Kluwer Academic Publishers, 37-80.
- EKSL, R., SOLE, A., (1979).- Stratégie d'automatisation, organisation du travail et relations sociales dans les grandes entreprises du tertiaire.- *Le travail humain*, tome 42, n°2, 313-324.
- EVANS, J., St B., T., (1984).- Heuristic and analytic processes in reasoning.- *British Journal of Psychology*, 75, 451-468.
- FALZON, P. (1985).- Langage naturel et langage restreint.- *Le Monde informatique*, 25 Novembre, 36-38.
- FALZON, P. (1986).- *Langages opératifs et compréhension opérative.*- Thèse de 3ème cycle, Université de Paris 5, 203.
- FALZON, P. (1987).- Communication homme-homme et interaction homme-machine.- *Bulletin de liaison de la recherche en informatique et en automatique*, 115, 13-21.
- FARGUES, J., (1986).- La logique mathématique et l'intelligence artificielle.- *AFCEI/Interfaces*, n°44, Juin, 11-19.
- FAURE, S., GONZALEZ, M., (1989).- Eléments méthodologiques pour l'explication de l'expertise médicale.- *La psychologie scientifique et ses applications*, MONTEIL, J-M., et FAYOL, M., (Eds), Grenoble : P.U.G, 71-92.
- FISCHER, G., HERCZEG, M. (1988).- Knowledge-based systems and communication between computers and human beings.- *Software ergonomics, Advances and applications.*- BULLINGER, H., J., and GUZENHÄUSER, R., (Eds), New-York : John WILEY & Sons, 89-101..
- FISCHER, G.N (1987a).- *Les concepts fondamentaux de la psychologie sociale.*- Paris: Dunod, 208p.

- FISCHER, G.N. (1987b).- Mutations technologiques et jeu organisationnel.- *Technologies nouvelles et aspects psychologiques*.- Montréal: Presses de l'Université du Québec, 79-95.
- FISCHER, G.N., (1990).- *Le champ du social*.- Paris : Dunod, 278.
- FISCHER, G.N., BRANGIER, E., (1990).- Implantation d'un système expert : stratégie d'appropriation et changement organisationnel.- *Actes du colloque L'économie et l'intelligence artificielle, CECOIA2*, Paris : AFCET, 89-94.
- FLORU, R., CAIL, F., (1986).- Data entry task on V.D.U : underload or overload.- *International scientific conference : Work with display units*, Stockholm, 12-15 May.
- FODOR, J., (1986).- *La modularité de l'esprit, essai sur la psychologie des facultés*, Paris : Editions de minuit.
- FOLEY, J. (1987).- Transformation on a formal specification of user-computer interfaces.- *Computer Graphics*, 21, 2,109-113.
- FREILING, M., ALEXANDER, J., MESSICK, S., REHFUSS, S., SHULMAN, S., (1985).- Starting a knowledge engineering project : a step-by-step approach.- *The AI magazine*, Fall, 150-164.
- FROHLICH, D., M., and LUFF, P., (1989).- Conversational resources for situated action.- *CHI 89 Proceedings*, 253-258.
- GAINES, B., (1987).- An overview of knowledge-acquisition and transfer.- *International Journal of Man-Machine Studies*.- 26, 453-472.
- GAMMACK, J., G., YOUNG, R., M., (1984).- Psychological techniques for eliciting expert knowledge.- *Research and development in expert systems.- Proceedings of the fourth technical conference of the british computer society specialist group on expert systems*, University of Warwick, BRAMER, M. A. (Ed), 18-20 décembre, 105-112.
- GARG-JANARDAN, C., SALVENDY, G., (1988).- A structured knowledge elicitation methodology for building expert systems.- *International journal of man-machine studies*, Vol 29, 377-406.
- GENTHON, P., (1989).- *Dictionnaire de l'intelligence artificielle*, Paris : Hermes.
- GHIGLIONE, R., (1986).- *L'homme communiquant*, Paris : Armand Colin.
- GHIGLIONE, R., BEAUVOIS, J-L., CHABROL, C., TROGNON, A., (1980).- *Manuel d'analyse de contenu*, Paris : Armand Colin, 159.
- GHIGLIONE, R., JAVORSHI, V., (1979).- Indicences structurelles et humaines de l'introduction du dessin automatique dans une entreprise du bâtiment.- *Le travail humain*, 2, 325-335.
- GILLAN, D., J., and BREDIN, S., D., (1990)- Designer's models of the human-computer interface.- *Computer and Human Interface April 1-5 1990*, Seattle : Addison-Wesley Publishing, CHEW, J., C., and WHITESIDE, J., (Eds), 391-398.
- GONZALEZ, M. (1988).- Sur les pratiques de validation de modèles en psychologie cognitive.- *Psychologie cognitive : modèles et méthodes*, CAVERNI, J-P., BASTIEN, C., MENDELSON, P., TIBERGHEN, G., (Eds).- Grenoble : PUG, 443-463.
- GONZALEZ, M., FAURE, S., (1988).- Des conditions d'utilisation d'un système d'aide à la décision médicale.- *Psychologie cognitive : modèles et méthodes*, CAVERNI, J-P., BASTIEN, C., MENDELSON, P., TIBERGHEN, G., (Eds).- Grenoble : PUG, 157-174..

- GRAS, A., POIROT-DELPECH, S., L., sous la responsabilité de (1989).- *L'imaginaire des techniques de pointes, au doigt et à l'oeil*, Paris : L'Harmattan, 229.
- GREEN, M. (1985).- The University of Alberta user interface management system.- *Computer Graphics*, 19, 3, 205-213.
- GREEN, M. (1987).- Direction for user interface management system research.- *Computer Graphics*, 21, 2, 113-116.
- GREENFIELD, P. M., LAVE, J. (1982).- Cognitive aspects of informal education.- in Wagner D.A. and Stevenson, H. (Eds).- *Child development in cross cultural perspectives*.- San Francisco: W.H. Freeman.
- GRIMA, M., (1983).- Le travail en mutation.- *Informations sociales*, 5.
- GRIZE, J-B.VERGES, P., SILEM, A.(1987) - Salariés face aux nouvelles technologies - Lyon : Centre régional de publication de Lyon, CNRS, 221.
- GUENIFFREY, Y., (1985).- Les robots ont-ils un QI ?.- *Bulletin de psychologie*, Tome XXXVIII, 370, 571-573.
- GUILLEVIC, C., (1988).- Transfert de technologies et psychologie du travail : l'appropriation de l'outil.- Université de Toulouse Le Mirail : Laboratoire Personnalisation et changements sociaux.
- GULICH, E., KOTSCHI, T., (1987).- Les actes de reformulation dans la consultation.- *La dame de Caluire : une consultation*, Berne : Peter Lang, 15-83.
- HABERMAS, J., (1973).- *La technique et la science comme idéologie*.- Paris: Denoël, 1968, 211p.
- HAMMOND, N., GARDINER, M., CHRITIE, B., MARSHALL, C., (1987).- The role of cognitive psychology in user-interface design.- in *Applying cognitive psychology to user-interface design*.- édité par GARDINER et CHRISTIE, New-York : Wiley et sons, 13-54.
- HANCOCK, P.A., and CHIGNELL, M.H., (1989).- *Intelligent interfaces*.- Amsterdam : North-Holland, 390.
- HART, A., (1988).- *Acquisition du savoir pour les systèmes experts*.- Paris : Masson, Collection sciences cognitives, 142.
- HATON, J-P., HATON, M-C., (1989).- *L'intelligence artificielle*.- Paris : PUF, Collection Que sais-je ?, 127.
- HAYWARD, S., A., WIELINGA, B., J., and BREUKER, J., A., (1987).- Structured analysis of knowledge.- *International Journal of Man-Machine Studies*, 26, 487-498.
- HAWKINS, D., (1983).- An analysis of expert thinking.- *International Journal of Man-Machine Studies*.-, 18, 1-47.
- HELANDER, M.G., RUPP, B.A., (1984).- An overview of standards and guidelines for visual display terminal.- *Applied Ergonomics*, n°15, vol.3, 185-195.
- HESKETH, P., BARRETT, T., (1989).- *An introduction to the KADS methodology*, London : STC Technology Ltd, Report for Esprit Project P1098, 119.
- HOC, J-M., (1985).- Aides logicielles à la résolution de problème et assistance aux activités de la planification.- *Colloque "Ergonomie en informatique"* : Nivelles, 25-27 Novembre, 16.

- HOC, J-M., (1986).- L'organisation des connaissances pour la résolution de problème : vers une formalisation du concept de schéma.- *Psychologie, automatique et intelligence artificielle*, BONNET, C., HOC, J-M., TIBERGHIE, G., (Eds), Bruxelles : Pierre Mardaga, 37-46.
- HOC, J-M., (1987).- *Psychologie cognitive de la planification*.- Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble, 197.
- HOC, J-M., (1988).- Aides logicielles à la résolution de problème dans les situations de travail.- *Psychologie cognitive, modèles et méthodes*.- CAVERNI J-P., BASTIEN, C., MENDELSON, P., TIBERGHIE, G. (Eds), Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble, 141-156.
- HUDSON, S., E. (1987).- UIMS support for direct manipulation interfaces.- *Computer Graphics*, 21, 2, 120-124.
- JAYEZ, J. (1986).- L'analyse de la notion de pertinence d'après Sperber et Wilson - *Sigma*, Publication du CELAM, n°10, 7-49.
- JOHN, B., E., and NEWELL, A., (1989).- Cumulating the science of HCI : From S-R compatibility to transcription typing.- *CHI'89 Proceedings*, May, 109-114.
- JOHN, B., E., ROSENBLOOM, P., S., and NEWELL, A., (1985).- A theory of stimulus-response compatibility applied to human-computer interaction.- *CHI'85 Proceedings*, April, 213-219.
- JOHNSON, P., DIAPER, D., and LONG, J., (1984).- Tasks, skills and knowledge : task analysis for knowledge based description.- *Interact'84*, SHACKEL, B. (Ed), Amsterdam : North-Holland, 499-503.
- JOHNSON-LAIRD, P.N., (1983) *Mental models*, Cambridge : Cambridge University Press.
- KAHN, G., (1988).- MORE : from observing knowledge engineers to automating knowledge acquisition.- *Automating knowledge acquisition for expert systems*, MARCUS, S., (Ed), Boston : Kluwer academic publishers, 7-36.
- KAHN, G., BREAUX, E., DEKLECK, P., JOSEPH, R., (1987).- A mixed-initiative workbench for knowledge acquisition.- *International Journal of Man-Machine Studies*, n°27, 167-179.
- KAHN, G., NOWLAN, S., McDERMOTT, J., (1985). MORE : an intelligent knowledge acquisition tools.- *Proceedings of IJCAI 1985*, Vol 1, August, 637-639.
- KAYSER, D., (1987).- Des machines qui comprennent notre langue.- *La recherche en intelligence artificielle*, Paris : Seuil, 149-175.
- KELLOGG, W., BREEN, T., (1986).- *Evaluating user and system models : applying scaling techniques to problems in human-computer interaction*.- New-York : IBM, Research report, 10.
- KELLY, G., A., (1955).- *The psychology of personal constructs*.- New-York : Norton.
- KITAJIMA, M., (1989).- A formal representation system for the human-computer interaction process.- *International Journal of Man-Machine Studies*, 30, 669-696.
- KLEIBER, G., (1988).- Prototype, stéréotype : un air de famille ?.- *DRLAV*, 38, 1-61.
- KLINKER, G., (1988).- KNACK : sample-driven knowledge acquisition for reporting systems.- *Automating knowledge acquisition for expert systems*, MARCUS, S., (Ed), Boston : Kluwer Academic Publishers, 125-174.
- KOFMAN, S., (1983).- *Un métier impossible*.- Paris : Galilée, 141.

- KÜHN, E., STREITZ, N.A., (1989)- Do users know how to ACT\* when menus are complex ? A numerical model of user interface complexity- in *Man-computer interaction research*, KLIX, F., STREITZ, N.A., WAERN, Y., and WANDKE, H. (Eds), North-Holland : Elsevier, 361-374.
- LANDAUER, T., (1987).- Relations between cognitive psychology and computer system Design.- in *Interfacing thought : cognitive aspect of human computer interaction*.- édité par CARROLL J., The MIT Press, 1-25.
- LASFARGUE, Y., (1988).- *Technojolies, technofolies*.- Paris : Les éditions d'organisation, 222.
- LASKE, O., E., (1986).- Competence and performance notions in expert system design : a critic of rapide prototyping.- *Actes du colloque 6ème journées internationales : Les systèmes experts et leurs applications*, Avignon, 28-30 Avril, 257-297.
- LAURIERE, J-L., (1986).- *Intelligence artificielle, résolution de problème par l'homme et la machine*, Paris : Eyrolles, 473.
- LE BEUX, P., FONTAINE, D., (1986).- Un système d'acquisition des connaissances pour systèmes experts.- *Technique et sciences humaines*, Vol 5, n°1, 7-14.
- LE BOURGEOIS, A., VALENTIN, A., (1986).- Vers un nouveaux dialogue avec l'ordinateur.- *Lettre d'information de l'Agence Nationale pour l'amélioration des conditions de travail*, Octobre, n°112, 2-9.
- LE NY, J-F., (1979).- *La sémantique psychologique*, Paris : PUF, Collection le psychologue, 257.
- LECOUTRE, B., ROUANET, H., (1988).- L'inférence statistique comme instrument de validation.- *Psychologie cognitive : modèles et méthodes*, CAVERNI, J-P., BASTIEN, C., MENDELSON, P., TIBERGHIE, G., (Eds).- Grenoble : PUG, 383-394.
- LEIBNIZ, G., W., (1703).- *Nouveaux essais sur l'entendement humain*.- Paris : Flammarion, édition de 1990, 441.
- LEPLAT, J. (1985).- Les représentations fonctionnelles dans le travail.- *Psychologie Française*.- 30, 3-4, 269-275.
- LEPLAT, J., ENARD, Cl., WEIL-FASSINA, A. (1970).- *La formation par l'apprentissage*.- Paris: P.U.F.
- LEPLAT, J., et CUNY, X., (1984).- *Introduction à la psychologie du travail* - Paris: Presses Universitaires de France, Collection le psychologue, 305p.
- LEVIS, C., NORMAN, D., (1986).- Designing for error.- in *User centered system design, New perspectives on Human-Computer Interaction*.- NORMAN et DRAPER éditeur, London : Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 411-431.
- LIEURY, A., (1975).- *La mémoire*, Bruxelles : Dessart et Mardaga, 265.
- LIU, M., (1990).- Problèmes posés par l'administration de la preuve dans les sciences de l'homme.- *Revue internationale de systématique*, Vol 4, n°2, 267-294.
- LUCONGSANG R., NOUVELLON, Ph. (1986).- Démarche ergonomique intégrée à une méthode d'informatisation.- *L'homme et l'écran, aspects de l'ergonomie en informatique*, Colloque de Nivelles, Bruxelles : Editions de l'Université de Bruxelles, PATESSON, R., (Eds), 447-454.

- LUZZATI, D. (1987).- Incidence de la machine sur le comportement langagier : sur l'exemple de demandes d'horaire SNCF.- *DRLAV*, 36-37, 183-197.
- MAHE, H., VESOUL., P., (1987).- Acquisition des connaissances et adaptation à l'utilisateur : outils et méthodes.- *Actes du Colloque Avignon 87, 7ème journée internationales, Les systèmes experts et leurs applications*, 625-645.
- MAISONNEUVE, G., (1988).- Pour améliorer la gestion des projets informatiques.- *Revue Française de Gestion*, Juin-Juillet-Aout, 44-52.
- MANHEIMER, J., M., BURNETT, R., C., and WALLERS, J., A., (1989).- A case study of user interface management system development and application, *CHI'89 Proceedings*, ACM, 127-132.
- MANKTELOW, K., and JONES, J., (1987).- Principles from the psychology of thinking and mental models.- in : *Applying cognitive psychology to user-interface design*.- Chichester ; John Wiley & Sons, 83-117.
- MARCUS, S., (1988).- SALT : a knowledge-acquisition tool for propose-and revise systems.- *Automating knowledge acquisition for expert systems*, MARCUS, S., (Ed), Boston : Kluwer academic publishers, 81-123.
- MARCUS, S., McDERMOTT, J., WANG, T., (1985). Knowledge acquisition for constructive systems.- *Proceedings of IJCAI 1985*, Vol 1, August, 581-584.
- MATHIEU, J., (1986).- Résolution de problème et acquisition des connaissances.- *Psychologie, automatique et intelligence artificielle*.- Bruxelles: Pierre Mardaga, 157, collection Psychologie et Sciences Humaines.
- MAZOYER, B., SALEMBIER, P (1987a) .- Les principales techniques de recueil de données en ergonomie des logiciels - *Ergonomie des logiciels : un atout pour la conception des systèmes informatiques*, Paris : La documentation française, sous la direction de ALZERA, C., CHRISTOL, J., FALZON, P., MAZOYER, B., PINSKY, L., et SALEMBIER, P., 22-26.
- MAZOYER, B., SALEMBIER, P (1987b) .- La maniabilité : une dimension mesurable de la qualité des logiciels ? - *Ergonomie des logiciels : un atout pour la conception des systèmes informatiques*, Paris : La documentation française, sous la direction de ALZERA, C., CHRISTOL, J., FALZON, P., MAZOYER, B., PINSKY, L., et SALEMBIER, P., 47-52.
- McDERMOTT, J., (1988).- Preliminary steps toward a taxonomy of problem-solving methods.- *Automating knowledge acquisition for expert systems*, MARCUS, S., (Ed), Boston : Kluwer Academic Publishers, 225-256.
- MELESE, J., GUINET, J., BROILLARD, A., de COUYSSY, G., DELAUNAY, D., (1983).- Incidences de l'introduction de la bureautique sur les conditions de travail des dactylos.- *Recherche économiqet et sociale*, n°6-7, 108-119.
- MERCHERS, J., TROUSSIER, J-F., (1988).- Analyse du travail : pratiques, concepts, enjeux.- *Formation emploi*, n°23, 57-70.
- MEUNIER, A., MOREL, M-A. (1987) .- Stratégie d'interaction dans un corpus de dialogue homme-machine.- *DRLAV*, 36-37, 159-181.
- MICHARD, A., (1985).- Les logiciels d'explication automatique.- *Le Monde informatique*, 25 Novembre, 35-36.
- MINSKY, J., R., (1975).- A framework for representing knowledge.- *The psychology of computer vision*, New-York : Mc Graw Hill.

- MOLES, A., (1958).- *Théorie de l'information et perception esthétique*, Paris : Calman-Levy.
- MOLES, A., (1986).- *Théorie structurale de la communication et société*, Paris : Masson.
- MONTMOLLIN, M. de. (1984).- *L'intelligence de la tâche. Eléments d'ergonomie cognitive*.- Berne: Peter Lang.
- MORAN, T.P., (1981) The command language grammar : a representation for the user interface of interactive computer systems.- *International journal of man-machine studies*, 15, 3-50.
- MORGOEV, V., K., (1989).- ARIADNA : a knowledge elicitation support system.- *AICOM*, Vol 2, n°3/4, 131-141.
- MYERS, B., A. (1987) .-Gaining general acceptance for UIMSs.-*Computer Graphics*, 21, 2,130-134.
- NAGAO, M., (1987).- Social and economic impacts of artificial intelligence.- in *Impacts of artificial intelligence*, TRAPPL, R., (Ed), Amsterdam : Elsevier, 99-102.
- NASSIET, D. (1987).- *Contribution à la méthodologie de développement des systèmes experts : application au domaine du diagnostic technique*.- Valenciennes : Université du Hainaut Cambrésis, Thèse de doctorat, 167.
- NORMAN, D.A. (1983).- Some observations on mental models.- in GENINER, D and STEVENS, A.L.- *Mental models*.- London : Laurence Erlbaum, 7-14.
- NORMAN, D.A., (1986) .- Cognitive engineering.- *User centered system design, New perspectives on Human-Computer Interaction*.- London : Lawrence Erlbaum Associates Publishers, NORMAN, D.A., DRAPER, S.W (Eds), 31-61.
- NORMAN, D.A., (1987).- Cognitive Engineering - Cognitive Science.- in *Interfacing thought :cognitive aspect of human computer interaction*.- CARROLL, J., (Ed), The MIT Press, 325-336.
- NORMAN, D.A., DRAPER, S.W. (1986) .- *User centered system design, New perspectives on Human-Computer Interaction*.- London : Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 525.
- O'LEARY, D., E., (1987).-Validation of expert systems with applications to auditing and accounting expert systems.- *Decision sciences*, vol 18, 468-486.
- OLERON, P., (1982).- *Le raisonnement*, Paris : PUF, Que sais-je ?, 127.
- OLERON, P., (1983).- *L'argumentation*, Paris : PUF, Que sais-je ?, 127.
- OLSON, J., R., RUETER, H., H., (1987).- *Extracting expertise from experts : methods for knowledge acquisition*.- *Expert system*, 4, n°3, August, 152-168.
- PACE, F., SONCARRIEU, T., TOULZA, P. (1982).- *Modalités de régulation mentale d'une activité de fabrication d'objets*.- Mémoire COSP .
- PASTRE, O., (1984).- *L'informatisation et l'emploi*.- Paris : La Découverte, 127.
- PAVE, F., Informatique et modification des relations sociales de travail : le cas d'une compagnie de chemin de fer.- *Brise*, 5, Octobre, 6-10.
- PAYNE, S., (1984).- Task-action grammar.- *Human-computer interaction, Interact'84*, SCHAKEL, B., (Eds), Amsterdam : Elsevier.

- PAYNE, S., GREEN, T., R., G., (1989).- The structure of command languages : an experiment on task-action grammar.- *International Journal of Man-Machine Studies*, 30, 213-234.
- PEARL, J., LEAL, A., SALEH, J., (1982).- GOODESS : a goal directed decision structuring system.- *IEEE Transaction on pattern analysis and machine intelligence*, Vol 4, n°3, 250-262.
- PHAN HUY DONG (1985a).- Conception de logiciel : question de cohérence, question de démarche, question d'outil (1).- *L'informatique professionnelle*, Novembre, n°38, 69-94.
- PHAN HUY DONG (1985b).- Conception de logiciel : question de cohérence, question de démarche, question d'outil (2).- *L'informatique professionnelle*, Décembre, n°39, 47-61.
- PIAGET, J., (1972). *Essai de logique opératoire*.- Paris : Dunod, 398.
- PIGANIOL, C., (1984a).- L'ergonomie des logiciels (1).- *L'informatique professionnelle*, n°22, 103-114.
- PIGANIOL, C., (1984b).- L'ergonomie des logiciels (2).- *L'informatique professionnelle*, n°23, 47-71.
- PINSKY, L., THEUREAU, J. (1982).- *Activité cognitive et action dans le travail*.- T.1., Les mots, l'ordinateur et l'opératrice. Coll. Ergonomie et Neurophysiologie du travail. CNAM n°73.
- PLAZA, E., LOPEZ DE MANTARAS, R., (1987).- *EAR : a system for acquiring and structuring knowledge*.- Rapport de recherche du groupe d'intelligence artificielle de Blanes, Espagne, Janvier.
- PLAZA, E., LOPEZ DE MANTARAS, R., (1989).- Model-based knowledge acquisition for heuristic classification systems.- *SIGART Newsletter*, n°108, April, 98-105.
- POLITAKIS, P., G., WEISS, S., M., (1985).- Using empirical analysis to refine expert system knowledge bases.- *Artificial intelligence*, Vol 22, n°1, 23-48.
- RASTIER, F., (1988).- Sémantique de l'interaction verbale homme-machine.- *Echanges sur la conversation*, Centre régionale de publication de Lyon : CNRS, COSNIER, J., GELAS, N., et KERBRAT-ORECCHIONI, C., (Eds), 301-321.
- REBOUL, A., (1988).- Les problèmes de l'attente interprétative : topoï et hypothèses projectives.- *Cahier de linguistique française*, 9, 87-114.
- REIX, R., (1990).- L'impact organisationnel des nouvelles technologies de l'information.- *Revue Française de Gestion*, Janvier-Février, 100-106.
- REUCHLIN, M., (1973).- Formalisation et réalisation dans la pensée naturelle : une hypothèse.- *Journal de psychologie normale et pathologique*, 4, 389-408.
- RIALLE, V., (1988).- *Ergonomie cognitive et base de données*.- Communication au Forum IA'88, Paris, 11, 12 et 13 Octobre, 12.
- RICHARD, J-F. (1983).- *Logique de fonctionnement, logique d'utilisation*.- Rapport INRIA, 1983, n°202, 47.
- RICHARD, J-F., POITRENAUD, S., (1988).- Problématique de l'analyse des protocoles individuels d'observations comportementales.- *Psychologie cognitive : modèles et méthodes*, CAVERNI, J-P., BASTIEN, C., MENDELSON, P., TIBERGHEN, G., (Eds).- Grenoble : PUG, 405-426.
- RICHARD, J-F., (1990).- *Les activités mentales, comprendre, raisonner, trouver des solutions*.

Paris : Armand-Colin, 435.

RICHARD, J-F., (1986).- Traitement de l'énoncé et résolution de problème.- *Bulletin de psychologie*.- tome XXXIX, N°375, 342-344.

ROQUEPLO, P., (1983).- *Penser la technique*.- Paris : Seuil.

ROSCH, E. (1976).-Classifications d'objets du monde réel : origines et représentations dans la cognition.- *Bulletin de psychologie*.- Tome 242-250.

ROSE, F., (1986).- *L'intelligence artificielle, histoire d'une recherche scientifique*, Paris : Payot, 252.

ROTHMAN, P. (1988).- Knowledge transformation.- *AI Expert*, November, 28-46.

SAINSAULIEU, R., (1982).- Les fonctionnements créateurs: du participatif à l'expérimental.- *Revue Française de Gestion*.- janvier-février, 6-17p.

SAINSAULIEU, R., (1987).- *Sociologie de l'organisation et de l'entreprise*.- Paris: Presses de la fondation nationale des sciences politiques et Dalloz, 385p.

SCAPIN, D.,L., (1984).- *Ergonomie du logiciel : situation et thèmes d'études*.- Le Chesnay : INRIA, Document interne, 7.

SCAPIN, D.,L., (1985).- *Guide ergonomique de conception des interfaces homme-machine*.- Le Chesnay : INRIA, 64.

SCAPIN, D., L., (1988).- *Vers des outils formels de description des tâches orientés conception d'interfaces*.-Le Chesnay : INRIA, Rapport de recherche n°893, 28.

SCAPIN, D., L., REYNARD, P., POLLIER, A., (1988).- *La conception ergonomique d'interfaces : problèmes de méthode*.- Le Chesnay : INRIA, Rapport de recherche n°957, 23.

SCHANK, R., C., (1986).- L'IA marche sur la tête.- *Humano*, 1, 33-35.

SCHANK, R.C., ABELSON, R.P., (1977).- *Scripts, plans, goals and understanding*, Hillsdale : Erlbaum.

SCHMUCKER, K., J., (1986).- Chapter 4 : Introduction to MacApp.- in : *Objet-oriented programming for the Macintosh*.- Hasbrouck Heights : Hayden Book Company, 83-129

SENACH, B., (1986).- Une approche ergonomique de l'informatique.- *Le journal des psychologues*, Octobre, n°41, 36-40.

SENACH, B., (1987).- Intelligence des logiciels d'aide à l'utilisation et modélisation de l'activité des utilisateurs.- - *Ergonomie des logiciels : un atout pour la conception des systèmes informatiques*, Paris : La documentation française, sous la direction de ALZERA, C., CHRISTOL, J., FALZON, P., MAZOYER, B., PINSKY, L., et SALEMBIER, P., 77-89.

SENKER, P., TOWNSEND, J., and BUCKINGHAM, J., (1989).- Working with expert systems : three case studies.- *AI & society*, 3, 103-116.

SHEIL, B., (1988).- Réflexions sur l'intelligence artificielle.- *Harvard- L'expansion*, Printemps, 17- 24p.

SHERMAN, S., J., (1980).- On the self-erasing nature of errors of prediction.- *Journal of Personality and Social Psychology*, 39, 211-221.

SHNEIDERMAN, B., (1987).- *Designing the user interface, Strategies for effective human-*

*computer interaction*.- Reading : Addison-Wesley, 448.

SHORTLIFFE., E. (1976).-*Computer-based medical consultation : Mycin*, Elsevier.

SIBERT, J., BELLARDI, R., and KAMRAN, A., (1985).-Some thoughts on the interface between user interface management systems and application software. Document typographié, Université George Washington, 10.

SIMON, H., A., (1983).- *Administration et processus de décision*, Paris : Economica, (traduit de 1945) 322.

SINGH, G., and GREEN, M., (1989).- A high-level user interface management system.- CHI'89 Proceedings, ACM, 133-138.

SIOCHI, A., C., (1989).-Task-oriented representation of asynchronous user interfaces.- CHI'89 Proceedings, ACM, 183-188.

SMITH, E. A. and MEDIN, D. L. (1981) - *Categories and concepts* - London : Harvard University Press, 186.

SOLE, A., (1988).- Comment éviter que la modernisation de l'entreprise consiste à équiper une vieille charrette à bras d'un moteur à réaction.- *Actes du colloque Compétitivité 1992*.- Césia, 24, 25 et 26 février.

SPERANDIO, J-C., (1984).- *L'ergonomie du travail mental*.- Paris : Masson, 1984, 130 .

SPERANDIO, J-C., (1986).- Du physique au cognitif en ergonomie informatique.- *L'homme et l'écran, aspects de l'ergonomie informatique* .- Edité par René PATESSON, Bruxelles: Editions de l'Université de Bruxelles, 15-27p.

SPERANDIO, J-C., (1987a).- L'ergonomie du travail informatisé.- *Traité de psychologie du travail*, Paris : PUF, 161-176.

SPERANDIO, J-C., (1987b).- Introduction à l'ergonomie des logiciels - *Ergonomie des logiciels : un atout pour la conception des systèmes informatiques*, Paris : La documentation française, sous la direction de ALZERA, C., CHRISTOL, J., FALZON, P., MAZOYER, B., PINSKY, L., et SALEMBIER, P., 15-21.

SPERBER, D., GIROTTO, V. (1989).- *Disponibilité des contre-exemples dans la tâche de sélection à quatre cartes*.- Communication à l'Université de Paris 8, 25 mai.

SPERBER, D., WILSON, D. (1986).- *Relevance, communication and cognition*.- Oxford : Basil Blackwell, traduit en 1989 (Paris : Editions de minuit), 279.

STANGUENNEC, M., TEDESCHI, E., (1989).- *Analyse conversationnelle d'un recueil d'expertise*, Nancy II : Groupe de Recherche sur les Communications, Mémoire de maîtrise de Psychologie sociale.

STREITZ, N. A., (1987).- Cognitive compatibility as central issue in human computer-interaction : theoretical framework and empirical finding.- in SALVENDY, G., (Eds) *Cognitive Engenering in the design of human computer interaction and expert system*.- Amsterdam : Elsevier science publish, 75-82.

SUCHMAN, L., A., (1987).- *Plans and situated actions, The problem of human/machine communication*.- Cambridge : Cambridge University Press, 203.

SUGAYA, H., STELOVSKY, J., NIEVERGELT, J. and BIAGIONI, E., S., (1984).- *XS-2 : an integrated interactive system*. - Document ronéotypé, 15.

- TERSAC (de), G., SOUBIE, J-L., et NEVEU J-P., (1988).- Systèmes experts et transferts d'expertise.- *Sociologie du travail*.- n°3, 1988, 461-476.
- THEUREAU, J., PINSKY, L., (1984).- Paradoxe de l'ergonomie de conception et logiciel informatique.- *Revue des conditions de travail*, n°9, Janvier Février, 25-31.
- TIBERGHIEU, G., (1988a).- Psychologie cognitive, science de la cognition et technologie de la connaissance.- *Informatique et société, des chercheurs s'interrogent !*, Grenoble : PUG, 83-96.
- TIBERGHIEU, G., (1988b).- Modèles de l'activité cognitive.- *Psychologie cognitive, modèles et méthodes*, CAVERNI, J-P., BASTIEN, C., MENDELSON, P., TIBERGHIEU, G., (Eds), Grenoble : PUG, 13-26.
- TROGNON, A., (1982).- L'analyse interlocutoire.- *Connexion*.- 38,39-59.
- TROGNON, A. (1983).- La construction de l'espace dialogique : la signification récurrente.- *Psychologie du Sud-Est*, n° 37-38, 125-137.
- TROGNON, A., (1986a).- Les linguistiques de la communication.- *L'homme communicant*, GHIGLIONE, R., (Ed), Paris : Armand-Colin, 237-75.
- TROGNON, A., (1986b).- Des enjeux ambigus et des contrats... plus ou moins facile.- *L'homme communicant*, GHIGLIONE, R., (Ed), Paris : Armand-Colin, 227-255.
- TROGNON, A., GUENIFFREY, Y., (1986).- L'intelligence artificielle: un outil pour l'étude des conversations.- *Psychologie, automatique et intelligence artificielle*.- Bruxelles: Pierre Mardaga, collection Psychologie et Sciences Humaines.
- VALENTIN, A., LUCONSANG R. (1987).- *L'ergonomie des logiciels*.- Paris : éditions de l'ANACT, 118.
- VANDERVECKEN, D., (1988).- *Les actes du discours, essai de philosophie du langage et de l'esprit sur la signification des énonciations*, Bruxelles : Mardaga.
- VANNESTE, C., (1987).- Maquettage et prototypage pour la conception d'interfaces hommes-ordinateur.- - *Ergonomie des logiciels : un atout pour la conception des systèmes informatiques*, Paris : La documentation française, sous la direction de ALZERA, C., CHRISTOL, J., FALZON, P., MAZOYER, B., PINSKY, L., et SALEMBIER, P., 53-56.
- VARELA, F., J., (1989).- *Connaître, les sciences cognitives tendances et perspectives*, Paris : Seuil, 123.
- VISETTI, Y-M.(1989).- Compte rendu : Lucy A. SUCHMAN, Plans and situated actions, The problem of human/machine communication.- *Intellectica*, 1, 7, 67-96.
- VISSER, W., et FALZON, P. (1988).-Recueil et analyse de l'expertise dans une activité de conception.- *Psychologie Française*.- Novembre, Tome 33-3, 133-138.
- VOGEL, C., (1988a).- *Le génie cognitif*, Paris : Masson, 180.
- VOGEL, C., (1988b).- Les systèmes experts dans le domaine spatial : l'innovation experte.- *Technospace, Colloque IA et Espace*, Bordeaux, 6 décembre, Document ronéotypé, 12.
- VOGEL, C., (1989).- How to qualify knowledge based systems.- *Fourth annual compass conference, IEEE*, Document ronéotypé, 12.
- WAHLSTER, W., (1988).- An intelligent multimodal interface.- *Methodologies for intelligent systems 3*, RAS, Z., W. and SAITTA, L., (Eds), Elsevier, 101-111.

**WATERMAN, D.A., (1986).**- A guide to expert system.- Reading : Addison Wesley Publishing.

**WATERMAN, D.A., JENKINS, B., (1979).**- Heuristic modelling using real-base computer systems.- *Threat, Reality, Response.*- Stanford University: Hoover Institutuin press, 285-330.

**WELBANK, M., (1983).**- *A Review of Knowledge Acquisition Techniques for Expert Systems .*- England: British Telecom Research Laboratories, 49.

**WELLNER, P., D., (1989).**- Statemaster : a UIMS based on statecharts for prototyping and target implementation, CHI'89 Proceedings, ACM, 177-182.

**WINOGRAD, T., (1984).**- Les logiciels de traitement des langues naturelles.- *Pour la science*, Novembre, n°85, 90-103.

**WINOGRAD, T., FLORES, F., (1989).**- L'intelligence artificielle en question.- Paris : PUF, 295.

---

# ANNEXES

---

*Dans les annexes sont répertoriés un ensemble de matériaux relatifs au corps de la thèse. Dans un premier temps nous présenterons les principaux intérêts à concevoir un système expert. Dans un second temps, nous fournirons quelques précisions sur l'entretien de recueil d'expertise, notamment quant à la reformulation et aux conditions de déroulement de l'entretien. Dans un troisième temps, nous étayerons notre exposé sur l'élaboration d'un modèle d'expertise à partir d'un modèle de la tâche de l'expert en revenant sur quelques aspects de MORE, SALT et TDE. Enfin, nous procéderons dans un quatrième temps à la présentation des résultats du test de validation du système expert.*

---

## ANNEXE 1 JUSTIFICATIONS ET INTERETS DE CONCEVOIR UN SYSTEME EXPERT

---

Certains auteurs (Benchimol et al, 1986 ; Welbank, 1983 ; Ecrement et Wasserman, 1986) expliquent l'engouement des entreprises pour les systèmes à base de connaissances par deux types de préoccupations, basées sur des justifications économiques et pédagogiques.

- (a) Les justifications concernant la nature des problèmes et des connaissances à traiter sont les suivantes :
- les problèmes à résoudre sont répétitifs,
  - la durée de vie des problèmes posés est suffisante pour permettre l'amortissement financier d'un système expert,
  - il n'existe pas de règles établies, d'algorithmes, de solutions ou de connaissances consignées pour traiter les problèmes visés,
  - les données à traiter ne sont pas uniquement numériques,
  - les problèmes à résoudre se traitent par raisonnement sur des connaissances diverses,

- les connaissances à mobiliser sont en partie qualitatives et font appel à l'expérience plutôt qu'à un savoir académique,
  - les connaissances mobilisées évoluent dans le temps,
  - il existe des experts capables de traiter la majorité des cas,
  - il existe chez les experts un consensus sur la nature des connaissances à mobiliser,
  - les solutions proposées peuvent être incertaines ou incomplètes.
- (b) Les justifications concernant le contexte des problèmes à résoudre :
- le temps de résolution des problèmes par un expert est important,
  - le coût d'une erreur ou d'un retard peut être élevé,
  - les problèmes se posent souvent en l'absence d'expert,
  - l'expertise est concentrée et les utilisateurs dispersés,
  - le turn-over de l'utilisateur est élevé,
  - une formation spécialisée des utilisateurs serait trop coûteuse,
  - l'expertise est rare, chère, vulnérable,
  - l'explication des solutions et des résultats présente un intérêt,
  - les personnes concernées sont disponibles et motivées.

A l'inverse de l'informatique classique, les systèmes experts ont trois principaux avantages (Ecrement et Wasserman, 1986).

- (a) Les avantages concernant la résolution de problèmes. On peut espérer en effet que les systèmes experts pourront augmenter les compétences de l'expert humain :
- en intégrant des connaissances diverses relatives à plusieurs domaines de connaissances;
  - en traitant de façon systématique, précise et rapide un grand nombre de données;
  - en aidant à clarifier, à expliciter et à formaliser des pratiques et des connaissances expérimentales non consignées.
- (b) Les avantages concernant les conditions de réalisation, puisque les systèmes experts :
- mettent l'accent sur la connaissance et le savoir et non sur le formalisme algorithmique de l'informatique classique,
  - rapprochent peut-être les utilisateurs de la mise au point des applications,
  - facilitent beaucoup, grâce à leur approche déclarative, la maintenance, la mise à jour et l'adaptation des applications.
- (c) Les avantages concernant les conditions d'utilisation, car les systèmes experts :
- peuvent permettre la capitalisation du savoir,
  - peuvent favoriser la décentralisation de l'expertise,
  - possèdent des qualités pédagogiques qui les rendent vraisem-

- blablement intéressants pour l'enseignement et la formation, peuvent augmenter le niveau de performance des utilisateurs tout en leur permettant une formation sur le tas induite par leur utilisation même.

---

## **A<sub>NNEXE</sub> 2 QUELQUES ASPECTS DE L'ENTRETIEN DE RECUEIL D'EXPERTISE**

---

### **A.2.1. La reformulation : typologie et exemples**

Les actes de reformulation sont des techniques appartenant à la méthodologie des interactants pour construire leurs discours et plus spécialement pour résoudre leurs problèmes communicatifs. En reprenant leur propre discours ou celui des autres, les individus utilisent des stratégies interlocutoires.

Chauchat (1985) distingue quatre types généraux de reformulations :

- (a) la reformulation-résumé consiste à contracter le plus fidèlement possible les propos de l'interviewé, afin d'optimiser la compréhension ;
- (b) la reformulation-écho s'attache à reprendre la dernière phrase pour que l'interviewé approfondisse le thème qu'il développe ;
- (c) le grommellement, ou des "Hum, hum" prononcés sur un ton convaincant ont pour effet de rassurer l'interviewé sur l'attention de l'interlocuteur ;
- (d) la reformulation du non-dit, de l'implicite, vise à interpréter le discours de l'interviewé. Ces interprétations sont souvent nécessaires pour lever certains blocages et pour réengager l'entretien.

Les reformulations jouent un rôle particulier dans l'entretien. En effet, elles assurent les ajustements de signification entre le cognitif et l'expert. D'une façon plus large, les reformulations :

- remplissent des fonctions nécessaires à l'élaboration du discours : verbalisation, ratification, rectification, reprise à distance d'un thème, explication, interprétation du discours de l'autre ;
- sont une reprise d'un discours de l'autre ou de son propre dis-

- cours ;
- sont un moyen utilisé par les interactants pour gérer leur compréhension mutuelle.

Tedeschi et Stanguennec (1989) ont repris la nomenclature des actes de reformulation proposée par Gulich et Kotshi (1985) pour typer les actes de reformulation d'entretiens visant à la conception de la maquette du système expert AndroMED. De la sorte, ces auteurs sont arrivés à une grille de classification des reformulations. Reprenons et précisons leurs résultats (Tedeschi et Stanguennec, 1989) tout en exemplifiant la notion de reformulation.

Tout comme le discours dont elles font parties, les reformulations sont produites interactivement. L'initiative d'une activité de reformulation varie selon les séquences interlocutoires. Leur caractère interactif apparaît de différentes manières :

**(a) Rephrasage :**

*C : J'crois voir, enfin on vient chercher des paramètres communs*

*E : Des paramètres communs*

L'énoncé reformulable de l'expert (E) est équivalent sur le plan lexical et grammatical à l'énoncé formulé par le cogniticien (C). Ce qui nous permet de caractériser E comme un rephrasage de C (la reformulation équivaut à un "oui").

**(b) Paraphrase :**

*E2 : Et ça je, je ne peux pas (-) pour certaines c'est possible (-) c'est à dire, euh pour certaines c'est très faisable et pour d'autres euh, je n'arrive pas à déterminer le le, l'intensité, une intensité différente(- -)*

L'énoncé de l'expert offre un exemple de reformulation paraphrasique : l'énoncé source "pour certaines c'est possible" et l'énoncé reformulateur "c'est-à-dire ... différente" ne comprennent pas les mêmes mots, mais il y a entre eux une relation d'équivalence sémantique, "c'est-à-dire" est appelé un "marqueur" car il crée une relation de reformulation entre deux énoncés différents. En d'autres termes, l'expression "c'est-à-dire" permet de dire de l'énoncé reformulateur qu'il s'agit d'une paraphrase. La fonction de cette paraphrase est d'être ce que Gulich et Kotchi (1985) appelle "une explication définitoire" : l'expert essaie d'expliquer pourquoi "pour certaines c'est possible" (il s'agit dans cette intervention pour l'expert de répondre à une question du cogniticien concernant l'échelle de gravité dans les maladies cardiaques). Cette explication a pour rôle de faciliter la compréhension entre l'expert et le cogniticien.

**(c) Correction.**

**C4:** *Mais donc vous pouvez peut être me dire les les, les quelques plus courants que l'on rencontre. Par exemple les cas où un type où un candidat ferait une tachycardie généralement s'accompagne d'un euh...*

**E4 :** *Ah non, elle peut s'accompagner.*

Par une reformulation d'une partie de l'énoncé du cogniticien, l'expert fait une rectification partielle de C4 : la caractéristique de la tachycardie n'est pas d'être généralement accompagnée, mais de l'être "occasionnellement". Nous parlerons d'auto-reformulation ou d'hétéro-reformulation selon que l'auteur de l'énoncé reformulé est ou non celui de l'énoncé reformulateur, ce qui permet de préciser les notions de paraphrase et de correction.

**(d) Auto-paraphrase**

**C9:** *Après on peut on a on a quoi ? Les les ça, on a les accidents vasculaires cérébrales ?*

**E10 :** *Non*

**C10 :** *Dans les types d'ischémies on a quoi ?*

Le cogniticien en C10 reformule son propre discours énoncé en C9. La réponse négative fournie par l'expert à la première requête, amène le cogniticien à reposer sa question mais en changeant les termes.

**(e) Hétéro-correction**

**E32:** *S'agit-il d'un infarctus ?*

**C32:** *Non mais (- -) c'est pas s'agit-il d'un infarctus, vous comprenez si c'est!*

La correction faite par le cogniticien porte sur le discours de l'expert.

**(f) Reformulation différée**

Énoncé reformulé et énoncé reformulateur ne s'enchaînent pas forcément directement. D'autres interventions peuvent venir s'intercaler entre eux deux :

**C1 :** *Et là enfin, globalement, toute maladie confondue est-ce que on peut classifier les, les maladies par leur euh*

**E1 :** *par la par leur*

**C2 :** *par leur ordre de enfin...*

**E2 :** *de gravité ?*

**C3 :** *de gravité.*

**E3 :** *L'gravité sera faite par l'insuffisance coronaire.*

**C4 :** *Non, mais toutes maladies confondues ?*

Le discours du cogniticien en C4 est une reprise à distance de la question qu'il avait formulée en C1 et dont il n'a pas reçu de réponse adéquate. La reformulation après clôture d'une négociation secondaire, permet au cogniticien de reprendre sa requête initiale en renforçant les mots importants. Si l'activité de reformulation est dé-

clenchée par l'auteur de l'énoncé reformulateur, on parle alors de reformulation auto-initiée. Si elle est déclenchée par l'auteur de l'énoncé reformulé, il s'agit alors d'une reformulation hétéro-initiée, ce qui a également l'avantage d'affiner les notions de rephrasage et de correction.

**(g) Rephrasage auto-initié**

*C11 : (...) maintenant vous dites dans les ischémies y a y a aussi autre chose que les infarctus (-) alors donc dites moi, euh les autres choses que les infarctus dans les cas d'ischémies ?*

Le cogniticien reformule des paroles que lui-même a emprunté à l'expert afin d'assurer la pertinence de sa question : "Alors...ischémies". On parle alors de reformulation auto-initiée car c'est le cogniticien qui prend l'initiative de faire une reformulation. L'expert n'en est pas directement responsable.

**(h) Correction hétéro-initiée**

*E32: S'agit-il d'un infarctus*

*C32: Non, mais (...) c'est pas s'agit-il d'un infarctus vous comprenez si c'est/*

C'est en guise de réponse à une requête de l'expert que le cogniticien reformule cette requête. C'est pourquoi nous pouvons qualifier la reformulation d'hétéro-initiée.

Si le travail de Tedeschi et Stanguennec (1989) montre à quel point les reformulations ont pour fonction d'assurer l'intercompréhension des individus, il n'en demeure pas moins que la relation entre la reformulation et l'intercompréhension n'est pas systématique. En effet, dans certains corpus il apparaît que la conception des reformulations en tant que procédé assurant l'intercompréhension n'est pas généralisable à tous les cas de reformulations. Cette constatation amène à prendre en considération le problème suivant : d'un point de vue général, les opérations de reformulation du discours n'ont pas toutes comme finalité l'adaptation des interlocuteurs. Malgré l'emploi de reformulations, de nombreux cas d'incompréhension subsistent. Par exemple :

*C8: Et là donc dans, si je reviens toujours au cas où l'individu a une tachycardie euh bon j'sais, pas importante, euh une fibrillation auriculaire.*

*E6 : c'est plus grave, c'est...*

*C9 : c'est plus grave que...*

*E7 : c'est plus grave. C'est beaucoup plus grave.*

Si on suppose que l'expert en E7 ne fait que renforcer ou valider la

ratification, la reformulation en C9 peut être interprétée comme une ratification de l'intervention de l'expert en E6. Toutefois, si nous faisons l'hypothèse que l'hétéro-rephrasage auto-initié du cognicien en C9 est une demande d'explication, la reformulation de l'expert en E7 n'assure pas l'intercompréhension, puisqu'elle n'apporte pas de nouvelle information. Cependant, les reformulations restent un moyen de s'assurer plus ou moins fortement de l'intercompréhension des protagonistes du recueil d'expertise.

En résumé, on peut noter que quatre dimensions interviennent dans les actes de reformulation : le rephrasage d'un discours précédemment énoncé, sa correction, l'initiateur de la reformulation (auto ou hétéro-initiée) et le déroulement temporel des interventions (reformulation immédiate ou différée).

## **A.2.2. Quelques conseils sur le déroulement de l'entretien de recueil d'expertise**

Les conditions de déroulement de l'entretien sont des éléments conditionnant la qualité du recueil d'expertise. Leur respect est une condition de réussite de la modélisation de la cognition. Ci-dessous, nous proposons trois recommandations sur le déroulement de l'entretien. Il s'agit des conditions matérielles de déroulement de l'interview, des signes de dysfonctionnements de la relation expert-cognicien, et enfin des remèdes possibles à ces symptômes.

### *Les conditions de déroulement de l'entretien*

Énonçons quelques conseils pratiques concernant le déroulement des entretiens. La durée d'un entretien, de 30 minutes à deux heures, doit être annoncée d'emblée afin de sécuriser l'expert et pour qu'il puisse organiser sa journée. La périodicité (par exemple deux entretiens par semaine) et le nombre total d'entretiens doivent également être prévus lors du démarrage du recueil, ceci afin de limiter temporellement l'intervention et d'obliger l'expert à prendre conscience que le recueil d'expertise n'est pas une situation de "conversation de salon", mais un processus à travers lequel il s'engage à mettre à jour, avec l'aide du cognicien, une partie plus ou moins inconsciente et clandestine de son travail. Quant au lieu, il doit être lié au domaine de l'expertise et faciliter les déplacements.

Les objectifs de l'entretien sont fixés par le cogniticien. Il en informe l'expert au début de chaque entretien et prévoit systématiquement différents objectifs afin de pallier, le cas échéant, l'impossibilité d'aborder un thème particulier. De même, le cogniticien doit proposer et présenter le style d'entretien qu'il souhaite mener. Il doit également s'assurer de pouvoir enregistrer et retranscrire les entretiens afin de les analyser, et ainsi il explique à l'expert comment il projette de réaliser le travail de recueil d'expertise.

### ***Les symptômes de la relation expert-cogniticien :***

Plusieurs signes du dysfonctionnement de l'entretien sont facilement repérables.

- silences longs et répétés ;
- signes d'agacements ;
- réponses évasives de l'expert ;
- le cogniticien a identifié une lacune et l'expert se sent désemparé ;
- digressions vers des thèmes ne concernant pas l'expertise ;
- l'expert joue lui-même au cogniticien, en voulant lui prouver implicitement qu'il ne sert à rien ou qu'il fait mal son travail ;
- agressivité des protagonistes ;
- l'expert insiste obsessionnellement sur un élément déjà abordé et formalisé.

A ces signes d'entretiens mal conduits peuvent correspondre des problèmes résumables ainsi :

- fatigue ou lassitude d'un des acteurs ;
- passivité de l'expert ;
- rétention d'informations de la part de l'expert qui craint de perdre son savoir, sa reconnaissance sociale ou son pouvoir dans l'entreprise.
- pauvreté de l'expertise, de la sorte l'expert peut craindre que son expertise se résume à quelques règles simples ;
- mauvaise intercompréhension.

L'identification de ces symptômes de la relation expert-cogniticien, ne constituent pas pour autant les stigmates d'un recueil qui avorte. Le cogniticien peut utiliser les ressources de l'entretien thérapeutique et ainsi réengager une relation "neutre et bienveillante".

### ***L'établissement d'une relation "neutre et bienveillante"***

En effet, plusieurs recommandations sont à suivre afin de garantir la coopération expert-cogniticien. D'une façon non exhaustive, le cogniticien :

- restera neutre. ;
- sera une sorte de confident ;
- aidera l'expert à approfondir ses connaissances ;
- relevera les carences de l'expertise, sans pour autant les qualifier de lacunes ;
- saura arrêter ou réorienter un entretien qui deviendrait trop gênant ;
- établira une relation claire ;
- associera activement et complètement l'expert et ses collaborateurs au recueil ;
- aidera l'expert à avoir confiance en lui-même ;
- changera, si besoin, le style de l'entretien.

---

## **ANNEXE 3 QUELQUES PRECISIONS SUR LES MODELES D'EXPERTISE FONDES SUR L'ANALYSE DES TACHES**

---

### **A.3.1. More**

A partir d'observations du travail d'ingénieur de la connaissance, Kahn (1988) a dégagé huit stratégies d'acquisition des connaissances, qui ont ensuite été intégrées au système MORE. Ces stratégies sont les suivantes :

- (a) La différenciation : quand des symptômes similaires sont associés à plus d'un problème, les ingénieurs essaient de déterminer les symptômes qui permettent de différencier les problèmes.
- (b) Les fréquences d'apparition d'un problème : les cognitiens recherchent les conditions générales pour lesquelles un symptôme peut apparaître. De la sorte, ils déterminent les conditions pour lesquelles un problème est probable ou pas.
- (c) La distinction des symptômes : par cette stratégie, les ingénieurs cherchent les caractéristiques particulières d'un symptôme indiquant qu'il a été causé par un fait plutôt que par un autre.
- (d) Les conditions d'apparition d'un symptôme : consiste à rechercher les conditions pour lesquelles un symptôme, aboutissant à un problème particulier, est probable.
- (e) La division des chemins : dans la chaîne de raisonnements allant du problème au symptôme ou inversement, résident un

certain nombre de symptômes ou de problèmes intermédiaires. La stratégie de division des chemins vise à la définition des étapes intermédiaires.

- (f) La différenciation des chemins est une stratégie similaire à la précédente, à ceci près que son but est de trouver tous les faits qui différencient les événements pouvant résulter d'un même symptôme.
- (g) La différenciation des tests de mesure du processus de fabrication s'attache à distinguer la fiabilité des instruments de mesure intervenant dans le diagnostic. Cette fiabilité peut jouer par exemple sur l'importance à donner à une variation de valeur.
- (h) Les conditions liées aux tests déterminent les conditions pour lesquelles la fiabilité des instruments peut varier.

Ainsi, MORE repose sur des stratégies d'interrogation de l'expert. Ces stratégies sont fondées sur des techniques de différenciation et de condition de réalisation des entités manipulées par les experts.

De plus, MORE dispose d'un modèle causal de la tâche de diagnostic constitué autour de cinq composants : les hypothèses, les symptômes, les conditions, les liens et les chemins. Les hypothèses représentent un fait dont l'identification sera la conclusion d'un diagnostic. En gros, ce sont les conclusions finales ou intermédiaires du système expert. Les symptômes sont des faits pouvant agir sur la signification d'autres entités. Les conditions représentent les prérequis pouvant affecter une hypothèse, un test ou toute autre entité de l'expertise. Les conditions sont donc les entités pouvant modifier l'influence d'un symptôme sur une hypothèse. Les liens joignent les entités de ce modèle. Ce sont des liens de causalité entre les entités. Enfin les chemins constituent les liens entre les symptômes et hypothèses. En quelque sorte, ce modèle causal de la tâche de diagnostic assimile les réponses de l'expert qui auront été explicitées à partir des stratégies d'interrogation.

Enfin, le modèle causal de MORE est agrémenté d'une base de règles permettant à la fois de saisir les connaissances de l'expert et de réguler le mécanisme d'inférences générant de nouvelles règles et testant leur consistance.

En définitive, MORE comprend des stratégies d'interrogation bien spécifiées, et constitue de ce fait un système d'aide à la collecte des entités manipulées par l'expert. De plus, il dispose d'un modèle de tâche de diagnostic qui semble être très spécifique d'un type de tâche très particulier. Du coup, on peut craindre que MORE soit adapté uniquement aux tâches relevant de son modèle, et par là même on

peut craindre qu'un expert ne se conformant pas à ce moule aura de grandes peines à l'utiliser.

### A.3.2. Salt

SALT (Marcus, McDermott, Wang, 1985 ; Marcus, 1988) repose sur l'idée qu'une représentation fonctionnelle des connaissances aide à identifier les connaissances nécessaires pour simuler une tâche de conception. En conséquence, il faut identifier quel domaine de connaissances est requis par l'expert pour résoudre son problème. SALT crée un plan ou dessin approximatif en (a) proposant des valeurs pour les paramètres de la conception, (b) vérifiant les contraintes apposées sur chaque paramètres et (c) corrigeant les valeurs si les contraintes ne sont pas satisfaites. Ainsi, selon Marcus (1988) les connaissances jouent trois rôles dans les stratégies de résolution de problème dédiées à la conception :

- "procedure" sont les méthodes procédurales de détermination de la valeur d'un composant ;
- "constraint" représentent les contraintes relatives à une valeur ; "constraint" est utilisé pour identifier une contrainte et fournir une procédure de détermination d'une valeur ;
- "fix" comprend les moyens de remédier à une contrainte non satisfaite.

Grâce à un dialogue interactif avec SALT basé sur des questions, des réponses et des menus, l'expert est invité à saisir ses connaissances. A chacun des trois rôles des connaissances sont associés des schémas et l'expert doit en documenter les attributs. Ce module de dialogue entre l'expert et la base de connaissances constitue le premier système de SALT. SALT comprend également un second système qui traduit les connaissances recueillies par le premier système dans un formalisme informatique.

En somme, l'originalité de SALT est donc de typer les connaissances par le rôle qu'elles remplissent aux yeux de l'expert. Ces rôles sont soit des procédures pour positionner des objets les uns par rapport aux autres par exemple, soit des contraintes sur les valeurs des paramètres, soit encore des moyens de réduire des contraintes non vérifiées.

### A.3.3. TDE

TDE (Kahn et al, 1987) est surtout un environnement de développement de systèmes à base de connaissances, plus qu'un système

a collecte et à la modélisation de l'expertise. Cependant il la résolution de problème par l'expert de l'acquisition des nces. Par conséquent, l'opérateur peut insérer de nouvelles nces dans la base de connaissances en même temps qu'il ren diagnostic. L'acquisition des connaissances suppose non t la collecte d'expertise, mais aussi la modélisation de cette nce en vue de la résolution du problème. L'idée de TDE de fournir des outils permettant de construire et de main- base de connaissances pour que l'expert se focalise sur ion de la connaissance. Néanmoins, comme l'indique ci-dessous, le dialogue d'acquisition des connaissances est ent pauvre, et surtout, il oblige l'expert à "rentrer dans le u formalisme proposé.

fragmentaire et caricaturale de requête réalisée avec TDE :

"S'il vous plaît, donnez les noms des exceptions."

(ne répondant pas à la question) clique sur le bouton "Ajouter un objet"

créé l'objet à l'écran

positionne l'objet à l'écran

"Quel est le nom de l'objet ?"

"carburateur"

"Quel est le mode ?"

clique sur le bouton "mode de défaillance"

"Décrivez ce qu'implique ce mode."

(interrompant à nouveau) clique sur "sélectionner carburateur"

Sélectionne le carburateur puis reprend "Décrivez ce qu'implique ce mode"...

1 de la représentation des connaissances, TDE utilise un ré- antique qui représente les concepts clés et une bibliothèque dont l'objet principal est appelé "mode de défaillance". Cet présente un état anormal d'un composant du système à dia- er. Les modes de défaillances sont organisés selon une arborescente. Au sommet de l'arbre se trouvent les faits les et en bas les composants terminaux. En général la re- l'un diagnostic s'effectue de façon récursive et en profon- bord, avec vérification des causes hypothétiques de la e, en commençant par la défaillance observée. Cependant, ge de l'arbre, et donc l'ordre de la recherche dans la base ssances, peut être spécifié par l'opérateur.

## ANNEXE 4 RESULTATS DU TEST DE VALIDATION DU SYSTEME EXPERT

### A.4.1. Présentation des résultats quantitatifs

Les résultats du test de validation sont exprimés dans les deux tableaux ci dessous.

Légende du premier tableau :

N° =	Numéro du dossier
Complexité E1 =	Degré de simplicité/ complexité attribué par l'expert 1 aux dossiers.
Complexité E2 =	Degré de simplicité/ complexité attribué par l'expert 2 aux dossiers.
Complexité E3 =	Degré de simplicité/ complexité attribué par l'expert 3 aux dossiers.
XC =	Degré moyen de simplicité/ complexité des dossiers.
Décisions M =	Décisions prises manuellement par un tarificateur.
Décisions E1 =	Décisions prises par l'expert E1.
Décisions E2 =	Décisions prises par l'expert E2.
Décisions E3 =	Décisions prises par l'expert E3.
Décisions SE =	Décisions prises par le système expert AndromED.
ID =	Identité parfaite des décisions avec au moins un expert. O signifie oui et N, non.
ID25 =	Identité des décisions avec au moins un expert à 25 % près. O signifie oui et N, non.
Accord décision E1 =	Degré d'accord / désaccord de l'expert 1 avec les décisions du système expert.
Accord décision E2 =	Degré d'accord / désaccord de l'expert 2 avec les décisions du système expert.
Accord décision E3 =	Degré d'accord / désaccord de l'expert 3 avec les décisions du système expert.
XD =	Degré moyen d'accord / désaccord avec les décisions du système expert pour les trois experts.
Accord justification E1 =	Degré d'accord / désaccord de l'expert 1 avec les justifications du système expert.
Accord justification E2 =	Degré d'accord / désaccord de l'expert 2 avec les justifications du système expert.
Accord justification E3 =	Degré d'accord / désaccord de l'expert 3 avec les justifications du système expert.

N°	Complexité				Décision							Accord Décision				Accord Justification			
	E1	E2	E3	XC	M	E1	E2	E3	SE	ID	ID25	E1	E2	E3	XD	E1	E2	E3	XJ
1	2	3	1	2	60	75	60	75	130	N	N	5	6	5	5,33	2	2	2	2
2	4	3	3	3,33	100	NPT	100	100	NPT	O	O	2	1	1	1,33	2	1	2	1,66
3	4	4	4	4	125	125	125	125	110	N	O	2	1	2	1,66	3	2	2	2,33
4	3	3	2	2,66	Ai	75	60	60	R	N	N	6	5	6	5,66	3	2	5	3,33
5	2	1	2	1,66	R	R	R	R	R	O	O	1	1	1	1	1	2	1	1,33
6	2	1	1	1,33	100	100	100	100	125	N	O	2	1	2	1,66	2	1	1	1,33
7	2	2	2	2	75	100	75	100	75	O	O	2	3	2	2,33	2	2	2	2
8	2	1	1	1,33	R	R	R	R	R	O	O	2	1	2	1,66	2	1	2	1,66
9	4	2	3	3	100	150	150	150	135	N	O	2	1	2	1,66	2	1	2	1,33
10	3	3	3	3	75	350	250	300	A-12	N	N	2	6	2	3,33	1	1	2	1,33
11	2	3	2	2,33	40	50	50	50	95	N	N	2	3	3	2,66	2	1	1	1,33
12	3	2	2	2,33	150	175	175	175	170	N	O	1	1	1	1	1	2	2	1,66
13	2	1	2	1,66	A-12	A-18	A-24	A-18	A-18	O	O	1	1	1	1	2	1	2	1,66
14	2	3	2	2,33	125	100	100	100	100	O	O	1	1	1	1	1	1	1	1
15	3	2	2	2,33	200	150	125	150	150	O	O	1	2	1	1,33	1	1	1	1
16	4	5	4	4,33	40	60	75	60	50	N	O	2	2	2	2	2	2	2	2
17	2	2	2	2	R	125	125	150	165	N	O	2	1	2	1,66	4	3	4	3,66
18	1	3	3	2,33	40	150	150	150	115	N	N	3	1	2	2	3	1	3	2,33
19	1	1	1	1	50	40	40	40	40	O	O	1	1	1	1	1	1	1	1
20	4	5	5	4,66	75	100	125	125	100	O	O	2	2	3	2,33	5	3	4	4
21	3	2	3	2,66	A-C	R	R	R	345	N	N	5	6	6	5,66	5	6	6	5,66
22	1	1	1	1	125	125	125	125	130	N	O	1	1	1	1	1	1	1	1
23	3	5	5	4,33	200	275	275	250	A-18	N	N	5	5	5	5	4	5	2	3,66
24	1	2	1	1,33	50	25	40	25	20	N	O	1	2	1	1,33	1	2	1	1,33
25	1	3	1	1,66	40	60	60	40	45	N	O	1	2	1	1,33	1	2	1	1,33
26	1	1	1	1	R	R	R	R	R	O	O	1	1	1	1	6	5	6	5,66
27	2	2	2	2	250	225	225	225	230	N	O	1	1	1	1	1	2	1	1,33
28	1	4	4	3	150	25	40	150	170	N	O	4	6	1	3,67	4	2	1	2,33
29	1	1	1	1	CN	60	20	60	60	O	O	1	2	1	1,33	1	2	1	1,33
30	1	3	1	1,66	40	40	40	40	140	N	N	4	4	6	4,66	2	2	1	1,66

## Légende du second tableau :

- N° = Numéro du dossier  
 Nb DM = Nombre de données médicales présentes dans le dossier.  
 Nb diag = Nombre de diagnostics déclenchés par le système expert (nombre de règles de production).  
 Nb prono = Nombre de pronostics effectués par le système expert (nombre de schémas d'inférences activés)
- Classes de décision M = Décisions prises manuellement rangées par classes.  
 Classes de décision E1 = Décisions prises par l'expert 1 rangées par classes.  
 Classes de décision E2 = Décisions prises par l'expert 2 rangées par classes.  
 Classes de décision E3 = Décisions prises par l'expert 3 rangées par classes.  
 Classes de décision SE = Décisions prises par le système expert rangées par classes.

Les classes de décisions sont codées de la façon suivante :

Classe 1 = condition normale d'acceptation du dossier médical

Classe 2 = 0% < sur-risque ≤ 50%

Classe 3 = 50% < sur-risque ≤ 100%

Classe 4 = 100% < sur-risque ≤ 150%

Classe 5 = 150% < sur-risque ≤ 200%

Classe 6 = 200% < sur-risque ≤ 250%

Classe 7 = 250% < sur-risque ≤ 300%

Classe 8 = 300% < sur-risque ≤ 350%

Classe 9 = 350% < sur-risque ≤ 400%

Classe 10 = 400% < sur-risque ≤ 450%

Classe 11 = Ajournement

Classe 12 = Refus

Classe 13 = Ne pas tarifer

N°D	Nb DM	Nb diag	Nb pronos	Classes de décision				
				Manu	E1	E2	E3	SE
1	11	1	2	2	2	2	2	3
2	15	4	2	4	13	4	4	13
3	25	3	2	4	4	4	4	4
4	12	0	2	11	3	3	3	12
5	18	5	5	12	12	12	12	12
6	11	1	1	4	4	4	4	4
7	12	0	2	3	4	3	4	3
8	13	0	2	12	12	12	12	12
9	16	1	1	4	4	4	4	4
10	19	9	4	3	9	7	8	11
11	18	2	2	2	3	3	3	3
12	14	7	5	5	5	5	5	5
13	17	4	3	11	11	11	11	11
14	10	0	1	4	4	4	4	4
15	19	3	3	6	4	4	4	4
16	8	0	1	2	3	3	3	3
17	12	1	2	12	4	4	5	5
18	19	1	2	2	4	4	4	4
19	11	0	1	2	2	2	2	2
20	14	0	2	3	4	4	4	4
21	15	5	4	10	12	12	2	8
22	14	5	3	4	4	4	4	4
23	15	9	7	6	7	7	7	11
24	20	1	2	2	2	2	2	2
25	8	4	3	2	3	3	2	2
26	25	4	4	12	12	12	12	12
27	17	2	2	6	6	6	6	6
28	9	3	2	5	2	2	5	5
29	8	1	1	1	3	2	3	3
30	17	3	3	2	2	2	2	4

## A.4.2. A propos du degré de complexité des dossiers médicaux

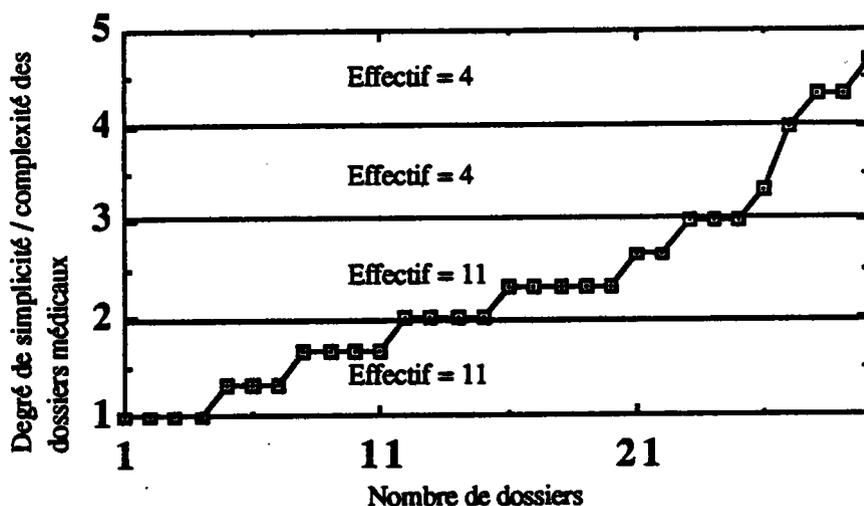
Notons d'emblée que les experts ont estimé les dossiers qui leur avaient été soumis comme relativement simples (figure 49). En effet seulement huit dossiers sur trente ont été estimés complexes, et aucun dossier n'a été jugé totalement complexe (degré 6).

De surcroît, le degré de simplicité / complexité moyen des dossiers estimé par les experts est de 2,3, avec un écart-type de 1,02. Traduit en valeur qualitative, ceci nous amène à souligner que de prime abord, nous pensions avoir déterminé des dossiers complexes, alors qu'en fait les dossiers ont été jugés plutôt simples. Cette remarque pose aussi une question : les dossiers sont-ils réellement simples ou bien les experts se prennent-ils pour des experts infallibles ?

L'analyse de complexité des dossiers met également en évidence que

le nombre de données médicales présent dans les dossiers n'explique pas la complexité. Autrement dit, on ne peut pas affirmer que plus un dossier comprend de données médicales et plus il est complexe. Il en va de même quant au nombre de diagnostics ou de pronostics.

Figure 49. Répartition des dossiers médicaux en fonction de leur degré de simplicité / complexité moyen.



En revanche, il semble que plus la connaissance que les experts ont d'une donnée médicale est faible, plus grande est la complexité. Illustrons ceci par deux exemples. Dans un dossier comprenant huit données médicales, dont une seule maladie, en l'occurrence la polyarthrite rhumatoïde, aucune règle de diagnostic n'a été activée. De plus, un seul schéma d'inférences a été activé, avec un parcours d'arbre des plus simples du point de vue informatique : deux inférences déclenchées. Pourtant ce dossier a été estimé complexe pour la seule raison que les conséquences de cette maladie sur l'espérance de vie du client sont difficiles à déterminer ou du moins incertaines. A l'opposé, un autre dossier jugé complexe comprenait de nombreuses données : 15 données médicales, 9 règles de productions activées pour diagnostiquer des données cliniques et 7 schémas d'inférences balayés par le moteur d'inférences. Dans ce cas, la complexité de provenait pas de l'indétermination des maladies, mais de l'incertitude quant à leur combinaison. Autrement dit, il semble que plus l'incertitude est grande dans la prise de décision, plus la complexité l'est aussi.

En somme, il paraît que la complexité ne puisse pas être rattachée à des données quantitatives. Au contraire, il apparaît qu'elle émane de la qualité des informations présentes dans le dossier médical, de la

difficulté de pronostiquer l'évolution de ces données médicales et également de la méconnaissance de certaines maladies. Pour résumer, la complexité ne vient pas du nombre de données mais de ce que les experts maîtrisent le moins.

---

## **ANNEXE 5 GLOSSAIRE DETAILLE DE QUELQUES TERMES**

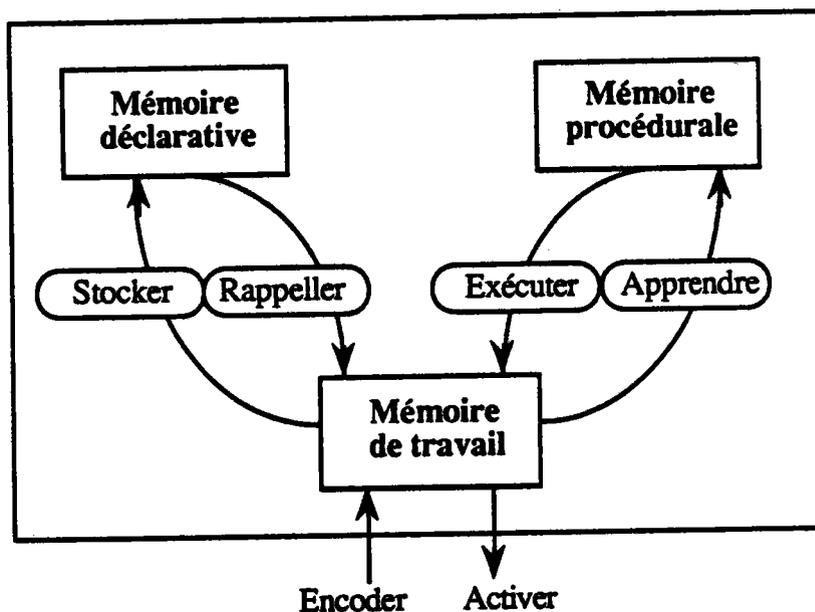
---

### **ACT\***

ACT\* (Anderson, 1983) est une théorie cognitive qui définit entre autres choses un formalisme de conception des interaction homme-machine. Il s'appuie sur les travaux effectués dans le domaine des sciences cognitives à propos des systèmes simulant des connaissances humaines. ACT\* vise ainsi à déterminer un modèle de fonctionnement de la mémoire de l'opérateur tout en essayant d'appliquer ce modèle à l'apprentissage, à la représentation des connaissances ou encore à la résolution de problème. En ce sens, ACT\* ne s'attache pas particulièrement à la conception des interactions homme-logiciel, mais offre une théorie de l'architecture de la cognition humaine, dont les principes sont, quant à eux, généralisables à la conception de systèmes informatique où intervient une modélisation des raisonnements et/ou des comportements humains. Dans son acception générale, une architecture cognitive correspond à une description fonctionnelle des divers éléments qui constituent le système cognitif et leurs relations (Richard, 1990).

Schématiquement, ACT\* distingue la mémoire déclarative de la mémoire procédurale. La mémoire déclarative peut être conceptualisée sous la forme d'un réseau comprenant des noeuds et des arcs ; les noeuds représentent les concepts et les arcs les associations entre les noeuds. Seulement une petite partie de la mémoire déclarative, la mémoire de travail, est active à un instant donné. Lorsqu'un noeud de la mémoire est activé, l'on considère que c'est un noeud source, et qu'il transfère une partie de son activation aux noeuds voisins.

Représentation générale des connaissances dans l'architecture ACT\* (d'après Anderson, 1989).



Pour Anderson, il y a deux traits saillants de la propagation de l'activation dans la mémoire déclarative.

- Le nombre de noeuds voisins du noeud source.  
Il détermine le déclin de l'activation des noeuds, car plus il y a de noeuds connectés avec un noeud donné, moins les noeuds seront atteints par l'activation initiale.
- La capacité des noeuds à être mobilisés.  
Elle dépend de la durée pendant laquelle un noeud a été activé. De plus, elle affecte la force relative des liens existant entre un noeud et son voisinage.

A partir de ces pré-requis, Anderson propose une modélisation de la propagation de l'activation. Dans la mémoire déclarative, chaque noeud conceptuel "i" du réseau peut être caractérisé par sa capacité à être mobilisé "s" qui augmente à chaque instant durant lequel le noeud a été activé. La propagation de l'activation dépend de la capacité de mobilisation relative "r<sub>ij</sub>" du liens entre le noeud "i" et le noeud "j". "r<sub>ij</sub>" est défini par :

$$r_{ij} = s_j / \sum_k s_k$$

où la somme est relative à l'ensemble des noeuds connectés à "i". Afin de garantir que toutes les activations d'un noeud sont distribuées aux noeuds adjacents, ACT\* fait la présupposition que la  $\sum_i r_{ij} = 1$ .

Soient encore :

- $A(t)$ , un élément "n" du vecteur représentant l'activation de n noeuds de mémoire à un instant "t" ;
- $N(t)$ , un élément "n" du vecteur représentant son input ; et
- $C^*(t)$ , un élément "n" du vecteur représentant l'activation au niveau du noeud source.

En accord avec Anderson, le changement de l'activation dans le réseau au cours du temps est donné par la formule suivante :

$$\frac{dA(t)}{dt} = B N(t) - p^* A(t)$$

avec :

$$N(t) = C^*(t) + RA(t - \delta t)$$

et où B est la force du couplage entre un noeud et son input, R est la matrice de la capacité de mobilisation relative des liens entre deux noeuds donnés, et  $p^*$  représente le taux de la diminution de l'activation. Voici rapidement présentée la théorie, fort complexe, de l'ACT\*.

A présent, montrons, à partir d'un exemple (Kühn et Streit, 1989), comment l'ACT\* permet de modéliser les connaissances déclaratives relatives à l'utilisation des dialogues homme-logiciel basés sur les menus.

Si nous considérons que "D" est une structure de dialogue comprenant de nombreux états de dialogue, alors la matrice adjacente à "D" du réseau sous-jacent est une matrice à n rangs et à n colonnes dont les éléments peuvent être définis de la façon suivante :  $d_{ij} = 1$  si le noeud "i" est adjacent au noeud "j", avec  $1 \leq i, j \leq n$  ; et  $d_{ij} = 0$  dans le cas contraire.

Ainsi, la matrice D représente l'ensemble des états de transition des dialogues entre deux états adjacents de dialogue. En basant leur travail sur l'idée, généralement admise, que l'homme se construit une représentation mentale de son environnement externe, Kühn et Streit présupposent qu'il y a une correspondance entre les états du dialogue et l'activation des noeuds en mémoire déclarative. De fait, le noeud source est associé avec l'état du dialogue au commencement de la tâche, et le but de l'utilisateur est associé avec l'état du dialogue à la fin de la tâche, c'est-à-dire lorsque l'utilisateur a satisfait son objectif. En s'appuyant sur cette observation, les auteurs font les remarques suivantes.

- (a) Les différences dans la structure externe (c'est-à-dire le dialogue tel qu'il est décrit en des termes "objectifs") se soldent par des différences dans la structure mentale interne de l'utilisateur, différences qui orientent la propagation de l'activation.
- (b) L'accroissement de la propagation de l'activation aboutit à une facilitation du processus cognitif opérant au niveau de la mémoire déclarative. Cette facilitation consiste en une amélioration des processus de rappel, reconnaissance, et de sélection des solutions appropriées.
- (c) L'augmentation de la facilitation entraîne une diminution du temps

d'exécution de la tâche ainsi qu'une réduction de la charge mentale de travail qui lui est associée.

Ainsi, un haut niveau d'activation au noeud correspondant à l'objectif de l'utilisateur conduit l'utilisateur à exécuter rapidement sa tâche et à commettre peu d'erreur. Du point de vue de la tâche de dialogue, analysée par les auteurs, ceci se traduit comme suit : la complexité cognitive d'une structure de dialogue donnée peut être prédite à partir de la connaissance du niveau d'activation calculé pour une structure de dialogue donnée, et validée empiriquement en mesurant le temps passé par l'opérateur à utiliser son interface. Kühn et Streitz présentent et valident en somme un modèle numérique de la complexité des dialogues. Ils démontrent la pertinence de leur approche à partir d'une situation expérimentale, fondée sur un dialogue de consultation concernant une base de données de références bibliographiques.

ACT\* est donc une théorie du fonctionnement de la mémoire, capable de simuler la propagation de l'activation des concepts. Elle se réfère historiquement à l'associationnisme, et côtoie le courant connexionniste. Pour le coup, ACT\* n'est pas aussi restrictive que les modèles orientés "couches" et propose un support formel capable de modéliser l'interaction homme-logiciel. Mais c'est établi, la mise en oeuvre de cette théorie est lourde à gérer dans la conduite d'un projet informatique, tant les concepts d'ACT\* sont complexes. Dès lors, les applications de ACT\* en entreprise, donc en situation réelle, sont rares. ACT\* est une théorie cognitive intéressante et délicate à manipuler tant son formalisme repose sur des données psychologiques. Coutaz (1988), à juste titre, signale qu'ACT\* dépasse les compétences des informaticiens. Bien qu'elle ne s'attache pas directement à la modélisation de l'interaction homme-logiciel, cette théorie a été appliquée avec succès à la conception de modèles de simulation implémentables en machine. Il s'agit, par exemple, d'un didacticiel intelligent d'apprentissage du langage Lisp, "The lisp tutor".

### **Boîtes de dialogue**

Elles consistent en une combinaison judicieuse de diverses formes de dialogues -grille de saisie, manipulation directe, menus, boutons de commande- qui permettent le dialogue entre l'utilisateur et le logiciel. Ce sont des grilles de saisie multi-fenêtrées dotées de la manipulation directe et nécessitant la souris comme dispositif de sélection. Tous les choix possibles sont présents à l'écran diminuant ainsi considérablement la charge mnésique de l'opérateur.

Exemple de la boîte de dialogue "Imprimer" sur Macintosh.

**Imprimer**

Imprimante: DirectLW

Pages:  Toutes  Selection  De: [ ] A: [ ]

Copies: [ 1 ] Papier:  Continu  Feuille à feuille

Imprimer le texte caché  Imprimer de la fin au début

Qualité Supérieure  Finition  Substituer le jeu

Réduire/Aggrandir de %: [ 100 ]  Page de garde

OK  
Annuler

Elles peuvent être standardisées et fixées une fois pour toute qu'elle que soit l'application, comme par exemple la boîte de dialogue d'impression sur Macintosh.

### Implémentation ou implantation

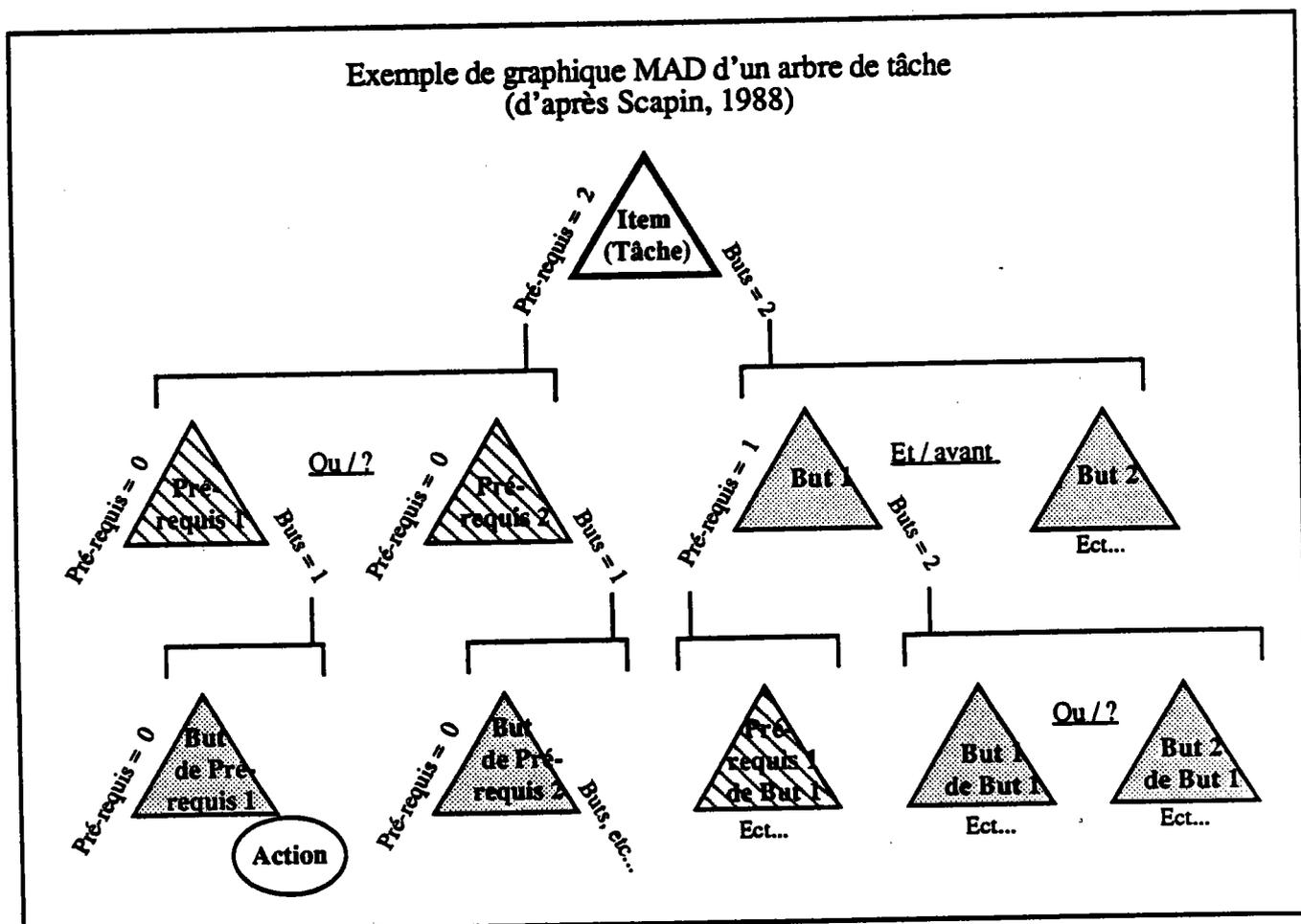
C'est la programmation informatique des spécifications techniques du logiciel.

### MAD, Méthode Analytique de Description des tâches orientée conception d'interfaces utilisateur

MAD est un outil visant à modéliser et à spécifier les interactions homme-logiciel. Fondée sur le concept de la planification hiérarchique, MAD définit la réalisation d'une tâche par la transformation d'un état initial en un état final. Pour ce faire, MAD prend en compte de nombreuses caractéristiques conceptuelles de la tâche et de l'opérateur. Du point de vue de la tâche, chaque "item", unité descriptive du travail de l'utilisateur, peut être soit une tâche - racine de la représentation hiérarchique-, soit un but -état à atteindre-, soit encore un pré-requis -ensembles des conditions nécessaires à la réalisation d'un item-. La décomposition des items est régulée par une structure objet d'héritage de propriétés, c'est-à-dire que les éléments décomposés héritent des attributs des éléments qui les superordonnent. Face à cette décomposition qui peut paraître rigide, Scapin introduit des notions tenant compte des "contraintes de l'exécution" des tâches. Il s'agit principalement de la synchronisation ; comme les items peuvent se décomposer en de nombreux pré-requis ou buts, ceux-ci sont organisés en fonction de

“connecteurs booléens” (et/ ou) et de connecteurs de “précédence” (avant/ après/ même temps/ sans contrainte). D'erechef, certains items peuvent être facultatifs, et d'autres peuvent boucler sur eux-même ou sur un ensemble d'items. Du point de vue de l'opérateur, MAD prend en compte les “événements extérieurs”, c'est-à-dire provenant d'un autre utilisateur ou de l'environnement physique de l'utilisateur. De plus, cette méthode propose de distinguer ce qui est du domaine de la “mémoire” et ce qui est du registre “perceptif”, afin de déterminer les objets qui devront être affichés à l'écran. Enfin, MAD effectue une différenciation entre les “actions mentales” ou interviennent principalement des connaissances, et les “actions physiques” mises en oeuvre lors de l'exécution d'une tâche. C'est pourquoi MAD est un modèle d'analyse de tâche à la fois riche en descripteurs formels et de haut niveau.

Exemple de graphique MAD d'un arbre de tâche  
(d'après Scapin, 1988)



En somme, MAD procède par découpage des tâches en sous-tâches ou sous-buts et fournit un modèle permettant de formaliser les tâches (surtout de bureau). La figure ci-dessus représente schématiquement la structure d'un arbre de description formelle de tâche. La racine de l'arbre correspond à l'item tâche qui s'instancie en pré-

requis et en buts, cette instanciation étant elle même itérative. Le découpage stoppe lorsque les buts se traduisent en actions, c'est-à-dire lorsque "lorsque l'ensemble des pré-requis est vide et que la décomposition n'occasionne par d'autres buts que le but précédent" (Scapin, 1988).

MAD est capable de décrire des tâches complexes. De plus elle a l'avantage d'avoir été prototypé sur Macintosh, et d'être en cours de portage sur station de travail. MAD est donc une tentative intéressante d'informatisation d'un modèle de description de tâches, qui se fonde sur la mise en perspective des méthodes d'analyse du travail de l'ergonomie avec le processus de conception des interfaces utilisateurs. Enfin, MAD a aussi l'intérêt de servir de support de dialogue entre les concepteurs et les utilisateurs, support qui manque trop souvent et dont l'absence accroît les malentendus.

## Menus

Un menu consiste en la présentation d'une liste de fonctionnalités possibles pouvant être sélectionnées, et dont la sélection par l'utilisateur entraîne un traitement de la part de l'ordinateur.

Exemple de menu déroulant sur Macintosh.



## Objet, orienté objet

Un objet se définit par un certain nombre d'attributs, c'est-à-dire des fonctions de l'ensemble des objets. Un objet dont les attributs n'ont pas de valeur sont appelés en intelligence artificielle des "prototypes". L'approche orientée objet s'attache à structurer les connaissances autour des objets manipulés et non autour des tâches à accomplir. Dans cette approche, il est possible de mélanger l'approche déclarative et l'approche procédurale.

## TAG, Task-Action Grammar

Pour évaluer la facilité d'utilisation des ordinateurs, il est nécessaire d'analyser les connaissances requises par l'utilisateur pour atteindre son objectif de tâche avec succès. Pour Payne (1984) et Payne et Green (1989) un composant important de cette connaissance est le langage de la tâche, c'est-à-dire le langage utilisé dans la réalisation d'une tâche, qu'il soit lexical comme dans l'utilisation d'un langage de commande, ou pratique comme dans l'utilisation d'un dispositif de sélection d'item. Dans le but d'analyser le langage d'une tâche, ces auteurs ont défini une sorte de métalangage, TAG -Task-Action Grammar-, au sein duquel ils ont spécifié une grammaire d'action de tâches. TAG prend ainsi la forme d'une grammaire qui permet la traduction de "tâches simples" en des spécifications d'actions.

Le principal objectif de TAG est d'indiquer comment la structure sémantique d'un langage de commande peut être mise en rapport avec une structure syntaxique. TAG va donc chercher à déterminer les relations entre la structure sémantique d'un langage, sa structure syntaxique et les séquences opératoires de réalisation de la tâche ; c'est ce que les auteurs appellerons "la consistance structurelle". En effet, selon eux la structure sémantique des langages de commande dénote de la compréhension que l'utilisateur a de la tâche qu'il exécute. De même, la structure syntaxique dénote de la séquence d'actions à travers laquelle la tâche est réalisée. Ainsi, TAG est un support formel de modélisation des interactions homme-ordinateur qui procède en modélisant les connaissances mises en oeuvre par l'utilisateur dans la réalisation de sa tâche. Son principe de base est que les caractéristiques sémantiques de la tâche permettent de mettre en évidence différentes catégories de tâches, qui peuvent être spécifiées formellement.

TAG s'attache à :

- (a) identifier les "tâches simples" que l'utilisateur exécute, c'est-à-

- dire ou n'interviennent ni résolution de problème, ni structure de contrôle de l'exécution ;
- (b) décrire les tâches simples dans un dictionnaire en déterminant leurs composants sémantiques ;
  - (c) écrire et généraliser les règles qui traduisent les tâches simples en des spécifications d'actions.

Le meilleur moyen de décrire TAG est encore de fournir un exemple simple, qui illustre clairement le modèle.

Imaginons un logiciel à manipulation directe équipée d'une souris qui gère les fichiers sur un micro-ordinateur. Les utilisateurs travaillent avec ce logiciel afin de créer, de supprimer ou de copier des fichiers. Supposons que pour chacune de ces commandes, ils doivent premièrement pointer le curseur de la souris sur l'icône représentant l'opération souhaitée, deuxièmement cliquer sur l'icône avec la souris, et troisièmement taper au clavier le nom du fichier. La question à laquelle TAG se propose de répondre peut être formulée ainsi : comment les connaissances requises pour l'exécution de ces trois opérations sont-elles représentées mentalement pour l'utilisateur ? La figure A donne la réponse en présentant une description TAG de ces trois opérations.

Figure A. Description TAG d'un fragment de langage basé sur l'utilisation d'une souris et gérant les fichiers d'un micro-ordinateur (d'après Payne et Green, 1989).

#### DICTIONNAIRE DE TACHES SIMPLES

Créer le fichier { Ancien = Nul, Nouveau = Fichier }

Supprimer le fichier { Ancien = Fichier, Nouveau = Nul }

Copier le fichier { Ancien = Fichier, Nouveau = Fichier }

#### REGLES

Tâche [Ancienne, Nouvelle] → pointer [Ancienne, Nouvelle] + cliquer + saisie du nom du fichier

pointer [Ancien = Nul, Nouveau = Fichier] → "pointer pour créer l'icône"

pointer [Ancien = Fichier, Nouveau = Nul] → "pointer pour supprimer l'icône"

pointer [Ancien = Fichier, Nouveau = Fichier] → "pointer pour copier l'icône"

Le dictionnaire de tâches simples liste chacune des tâches simples et les décrit en tant qu'une collection de composants sémantiques qui sont évalués (dans la figure A, l'évaluation est mise entre accolades). Les règles définissent la traduction des tâches simples en des actions. Enfin la grammaire procède en attribuant des valeurs aux caractéristiques non évaluées selon un processus "consistant" décrit par les règles. De cette façon, la description TAG (figure A) qui spécifie la structure des tâches simples à partir de la tâche complète, peut être énoncé en trois règles (figure B).

Figure B. Description des règles TAG d'un fragment de langage basé sur l'utilisation d'une souris et gérant les fichiers d'un micro-ordinateur (d'après Payne et Green, 1989).

Tâche [Ancienne= Nulle, Nouvelle = Fichier]

→pointer [Ancienne= Nulle, Nouvelle = Fichier] + cliquer + saisie du nom du fichier

Tâche [Ancienne= Fichier, Nouvelle = Nulle]

→pointer [Ancienne= Fichier, Nouvelle = Nulle] + cliquer + saisie du nom du fichier

Tâche [Ancienne= Fichier, Nouvelle = Fichier]

→pointer [Ancienne= Fichier, Nouvelle = Fichier] + cliquer + saisie du nom du fichier

En bref, TAG repose sur une grammaire formelle, en l'occurrence BNF -Backus, Naur, Form-. De ce fait, TAG a l'inconvénient de ne pas s'appesantir sur les considérations conceptuelles de la réalisation d'une tâche et élude en partie le problème du contexte de la tâche. Par contre, il a l'avantage de s'intéresser à la pratique concrète de l'interaction homme-logiciel en présentant un modèle formel que nous pouvons qualifier de "bas niveau". Faute de disposer d'un modèle conceptuel suffisamment détaillé de la tâche de l'utilisateur, TAG ne permet pas de mettre en relation un nombre important de tâches simples. Rappelons encore, comme l'ont souligné Payne et Green, que la notion de tâches simples ne peut pas s'appliquer à la modélisation des activités complexes, comme la résolution de problème ou la planification. Scapin (1988) remarque également que TAG ne différencie pas un objet effectivement perceptible par l'utilisateur d'un objet représenté, par conséquent il en émane une relative confusion entre les objets réels de l'interface et les objets imaginés par l'utilisateur.

### Test de Turing

Il s'agit d'un test visant à savoir si une machine peut ou non penser. Defays (1988) le résume comme suit.

"Trois personnes sont situées dans deux pièces différentes : un homme A, une femme B et un interrogateur C dont le sexe importe peu. C se trouve dans une pièce différente de celle où se trouvent A et B. Le but du jeu, pour C est de deviner uniquement en posant des questions, le sexe de ses deux interlocuteurs. C les connaît, au début, sous les noms X et Y ; il ou elle doit pouvoir à la fin du jeu, être capable d'identifier leur sexe respectif. De manière à ne pas trop simplifier la vie de l'interrogateur, le jeu prévoit que A pourra essayer d'induire C en erreur (en ne disant pas la vérité), alors que

B, par contre, cherchera à l'aider. Turing pose alors la question suivante : « Que se passerait-il si une machine se trouvait à la place de A ? C se tromperait-il aussi souvent que lorsque A est un être humain ? ». Cette question remplace, pour lui, la première interrogation : « Les machines peuvent-elles penser ? »